



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ENGINYERIA TÈCNICA TOPOGRÀFICA

PROJECTE FINAL DE CARRERA

ESTUDIS DELS CANVIS EN LA MORFOLOGIA DEL DELTA L'EBRE DURANT ELS SEGLES XX-XXI

Projectista/es: Xabier Blanch Gorriz

Director/s: Carolina Puig Polo

Convocatòria: Abril/maig 2014

RESUM

En aquest projecte es pretén fer un estudi dels canvis en la morfologia del Delta de l'Ebre al llarg dels segles XX-XXI, per aquest motiu aquest estudi es basa en la comparació de les diferents fonts d'informació que durant el darrer segle han emmagatzemat informació sobre la línia de costa del Delta.

D'aquest manera, a partir dels mapes topogràfics nacionals, ortofotografies, imatges de teledetecció de mitja i alta resolució pretenem comparar els diferents límits de costa.

En aquestes pàgines s'explica com s'ha treballat cada font d'informació diferent per a poder extreure una cartografia que permeti fer la comparativa.

El projecte es complementa amb un breu anàlisi de com s'han desenvolupat els canvis morfològics fent un especial èmfasi en l'època de construcció de grans preses i amb una breu justificació d'un dels mètodes emprats per obtenir la cartografia, amb l'objectiu de donar coherència i consistència al projecte.

Finalment, s'adjunta la cartografia resultant amb les variacions morfològiques del Delta de l'Ebre.

ÍNDIX DE CONTINGUTS

RESUM.....	1
ACRÒNIMS	4
PREFACI.....	5
1 INTRODUCCIÓ.....	6
1.1 MOTIVACIÓ	7
1.2 ÀREA D'ESTUDI	8
1.3 DESCRIPCIÓ GEOLÒGICA	10
1.4 OBJECTIUS.....	12
2 FONTS D'INFORMACIÓ	13
2.1 FONTS D'INFORMACIÓ	13
2.2 MAPES ANALÒGICS.....	14
2.2.1 MTN50 1919.....	14
2.2.2 MTN50 1938.....	15
2.3 FOTOGRAFIA AÈRIA 1956/57.....	16
2.4 IMATGES SATÈL·LIT.....	18
2.4.1 Introducció a la Teledetecció	18
2.4.1.1 Resolució espectral	18
2.4.1.2 Resolució espacial.....	19
2.4.1.3 Resolució temporal	20
2.4.1.4 Resolució radiomètrica.....	21
2.4.1.5 Sensors	21
2.4.2 Imatges LandSat.....	22
2.4.2.1 LandSat 1 MSS	22
2.4.2.2 LandSat 5 TM.....	23
2.4.2.3 LandSat 8 OLI-TIRS	24
2.4.3 SPOT 5.....	26
3 PROCESSAT.....	27
3.1 PROGRAMARI.....	27
3.2 MAPES ANALÒGICS.....	28
3.2.1 MTN50 1919.....	28
3.2.1.1 Dificultats.....	32
3.2.2 MTN50 1938.....	33
3.2.2.1 Dificultats.....	33
3.3 ESTUDI D'ERRORS EN LA VECTORITZACIÓ MANUAL	35
3.4 FOTOGRAFIA AÈRIA 1956/57.....	38
3.4.1 Dificultats Fotografia Àrea.....	38

3.5	IMATGES SATÈL·LIT	41
3.5.1	<i>LandSat 1 ERTS</i>	41
3.5.1.1	Dificultats	46
3.5.2	<i>LandSat 5 TM</i>	49
3.5.2.1	Dificultats	49
3.5.3	<i>LandSat 8 OLI-TIRS</i>	51
3.5.3.1	Dificultats	51
3.5.4	<i>SPOT 5</i>	52
3.5.4.1	Dificultats SPOT	55
4	ANALISI DELS RESULTATS	57
4.1	ESTUDI GEOMORFOLÒGIC.....	57
4.1.1	<i>Històric</i>	57
4.1.2	<i>Previ construcció de preses</i>	60
4.1.3	<i>Post construcció de preses</i>	64
4.2	ESTIMACIÓ DE LA TAXA DE DESINTEGRACIÓ DEL DELTA	67
	CONCLUSIONS	69
	BIBLIOGRAFIA I PÀGINES WEB CONSULTADES	72
	BIBLIOGRAFIA	72
	PÀGINES WEB	72
	AGRAÏMENTS.....	73
	ÍNDEX DE FIGURES I TAULES	74
	ANNEX	76
A.	LLEGENDA MAPA GEOLÒGIC.....	76
B.	MALDONADO, 1972	77
C.	IBERINSA, 1992	77
D.	CANICIO E IBÁÑEZ, 1999	78
E.	RESULTATS	79
I.	<i>Mapa vectorial – MTN50 (1919)</i>	79
II.	<i>Mapa vectorial – MTN50 (1938)</i>	80
III.	<i>Mapa vectorial – Ortofotografia (1957)</i>	81
IV.	<i>Mapa vectorial – LandSat 1 (1972)</i>	82
V.	<i>Mapa vectorial – LandSat 5 TM (1984)</i>	83
VI.	<i>Mapa vectorial – LandSat 8 TM (2014)</i>	84
VII.	<i>Mapa vectorial – SPOT 5 (2005)</i>	85
VIII.	<i>Mapa vectorial General</i>	87
IX.	<i>Mapa vectorial Front del Delta</i>	89

ACRÒNIMS

PFC: Projecte Final de Carrera

CREAF: Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals

Llicència C.C.: Llicència *Creative Commons*

ICC: Institut Cartogràfic de Catalunya

IGC: Institut Geològic de Catalunya

UB: Universitat de Barcelona

MTN50: Mapa Topogràfic Nacional. Escala 1:50.000

IGN: Instituto Geográfico Nacional

USGS: United States Geological Survey

PNT: Plan Nacional de Teledetección

CREAF: Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals

UAB: Universitat Autònoma de Barcelona

CECAF: Centro Cartográfico y Aerofotográfico del Ejército del Aire

WMS: Web Map Service

MMS: Multispectral Scanner

TM: Thematic Mapper

ETM+: Enhanced Thematic Mapper Plus

OLI: Operational Land Imager

TIRS: Thermal Infrared Sensor

GLOVIS: Global Visualization

ERTS: Earth Resources Technology Satellite

NDWI: Normalised Difference Water Index

PREFACI

Aquest Projecte Final de Carrera serà defensat en la convocatòria d'abril/maig de 2014 malgrat haver superat totes les assignatures curriculars el juny del 2011. Aquest retard en la presentació del PFC està motivat per la *necessitat* de seguir estudiant i la voluntat d'eludir el recàrrec del 40% que s'aplica als estudiants que cursen una segona titulació. Entenent que en el context actual aquesta mesura és terriblement injusta, que precaritza els estudiants i situa l'educació i el coneixement en un valor de luxe.

Tanmateix, defenso el PFC a l'abril/maig de 2014 sense haver acabat la segona titulació perquè la direcció vigent de l'escola traslladarà tots els expedients de pla antic (Enginyeria Tècnica) al pla nou (Grau) durant el 2015. Aquest fet implicaria la necessitat de convalidar els estudis, cursar noves assignatures i elaborar nous projectes amb el cost afegit que això comporta.

Finalment, la defensa del PFC en aquesta convocatòria ve condicionada per la necessitat de buscar solucions imaginatives al pla de mobilitat obligatòria que exerceix l'escola on estic estudiant actualment (Escola de Camins – UPC). Davant la dificultat d'accés a les places de qualitat que s'ofereixen l'obtenció dels estudis d'Enginyeria Tècnica Topogràfica habiliten la possibilitat d'iniciar estudis superiors a l'espera d'accedir a una placa de mobilitat de qualitat.

També és voluntat d'aquest prefaci esmentar que al llarg dels tres anys d'espera he anat madurant el projecte, reestructurant el mètode de treball i d'anàlisi alhora que complementant-ho amb els nous coneixements adquirits en la nova titulació (Grau en Enginyeria Geològica).

Amb la voluntat de no perdre l'origen del PFC he decidit mantenir el títol de la primera proposta malgrat l'anàlisi del projecte no es limita només a l'estat morfològic del Delta de l'Ebre sinó, com es veurà més endavant, el PFC aprofundeix en altres criteris d'anàlisi que poden aportar informació rellevant sobre les afectacions que ha rebut el Delta de l'Ebre al llarg del segle XX-XXI.

1 INTRODUCCIÓ

Tal com cita l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya el Delta de l'Ebre és un sistema natural de gran valor que està desprotegit davant dels efectes antròpics i del canvi climàtic. Per aquest motiu constaten en *L'estudi de base per a una prevenció i adaptació al canvi climàtic a Catalunya, Número 1: El delta de l'EBRE* la component regressiva que aquest està patint, com a mínim, des del darrer segle.

Per aquest motiu l'objectiu d'aquest PFC és analitzar els canvis morfològics de la línia de costa que ha patit el Delta de l'Ebre al llarg del segle XX. Per fer aquest anàlisi s'ha emprat diferents fonts d'informació d'accés públic corresponent a diferents èpoques compreses entre el 1919 i el 2014. Cada font d'informació s'ha tractat de manera específica aplicant processos concrets per extreure les dades.

Per poder comparar de manera gràfica les diferents fonts d'informació s'ha extret un mapa vectorial de cada una d'elles. Aquest mapa vectorial és el resultat final d'aplicar tots els processos i transformacions a les diferents fonts d'informació.

S'ha optat per un mapa vectorial perquè ens permet visualitzar molt bé el límit terra/mar i alhora ens permet comprovar i fer un anàlisi molt ràpid en cas de cometre algun error ja que en tots els mapes vectorials la línia de costa en els extrems ha de coincidir. A més a més, l'obtenció d'un mapa vectorial (vectorització) és un procés que s'adapta de diferents maneres (manual o automàtic) a totes les fonts d'informació.

A més a més de l'anàlisi estrictament tècnic també són objectius d'aquest PFC trobar una taxa de formació/desintegració del Delta de l'Ebre en els darrers anys i analitzar l'evolució de la deformació del Delta de l'Ebre abans i després de la construcció de grans presses. Finalment també forma part d'aquest PFC un anàlisi qualitatiu dels errors sistemàtics i de precisió que s'han pogut fer al llarg dels diferents processos aplicats.

Aquest PFC està estructurat en diferents blocs per ajudar a la comprensió i facilitar l'explicació dels diferents processos que s'han emprat per obtenir les dades i dels diferents resultats dels objectius plantejats. Així doncs, el nucli de la memòria està dividit en un primer apartat introductori, un apartat on s'explica tots els processos emprats i les seves dificultats i un bloc final de conclusions.

El programari principal que s'ha emprat per processar totes les fonts d'informació és el sistema d'informació geogràfica i programari de teledetecció MiraMon vs.7 elaborat pel CREA. S'ha usat amb una llicència d'estudiant facilitada pels mateixos propietaris.

1.1 Motivació

L'estudi de les variacions geomorfològiques de les zones deltaïques sempre ha estat un element clau per entendre l'evolució d'aquestes i per observar com el medi i l'entorn afecten al seu desenvolupament. En el cas del Delta de l'Ebre, com s'ha comentat en la introducció del PFC, aquest estudi pren especial rellevància al llarg del darrer segle ja que tot un seguit de fenòmens ambientals i antròpics semblen que han revertit una tendència expansiva històrica. A més a més, també ha estat tema de debat la implantació d'un cabal ecològic o un cabal mínim que garantís la viabilitat del Delta i els seus atractius naturals.

Entre els fenòmens ambientals més importants cal destacar la subsidència del Delta (enfonsament tectònic), el canvi climàtic (augment del nivell del mar) i la reducció de cabal (canals de rec i d'abastament sense retorn al riu). El fenomen antròpic més important que cal destacar és la construcció de presses al llarg del curs del riu. Des de l'inici fins a la desembocadura es troben més de dos-cents embassaments

Donades aquestes circumstàncies esdevé interessant estudiar l'evolució del Delta al llarg del segle XX posant especial èmfasi, ja que els mitjans ens ho permeten, en els darrers anys i buscar els anàlisis i les comparacions que puguin ser més rellevants.

Tots els resultats i les seves conclusions partiran de la teoria evolutiva que afirma que el Delta de l'Ebre, fins a principis del segle XX, estava en una evident tendència expansiva. Aquesta teoria es recolza en les diferents imatges dels resums dels treballs Maldonado (1972), Iberinsa (1992) i Canicio e Ibáñez (1999) que es mostren en l'annex B, C i D.

1.2 Àrea d'estudi

El riu Ebre és un riu situat a la NE de la península Ibèrica (Figura 1.1). Té els seus orígens a la població de Fontibre on recull tota l'aigua de les conques de la serralada Cantàbrica. La seva desembocadura és al mar Mediterrani, formant un delta al sud de Catalunya situat entre la comarca del Baix Ebre i la comarca del Montsià.

Al llarg dels seus 908¹ km de recorregut recull l'aigua dels diferents afluents que hi conflueixen connectant el riu amb la majoria de conques pirenaïques. Per aquest fet la seva conca de recepció és de 83.093² km², situant l'Ebre com un dels rius més importants i més cabalosos de la península.

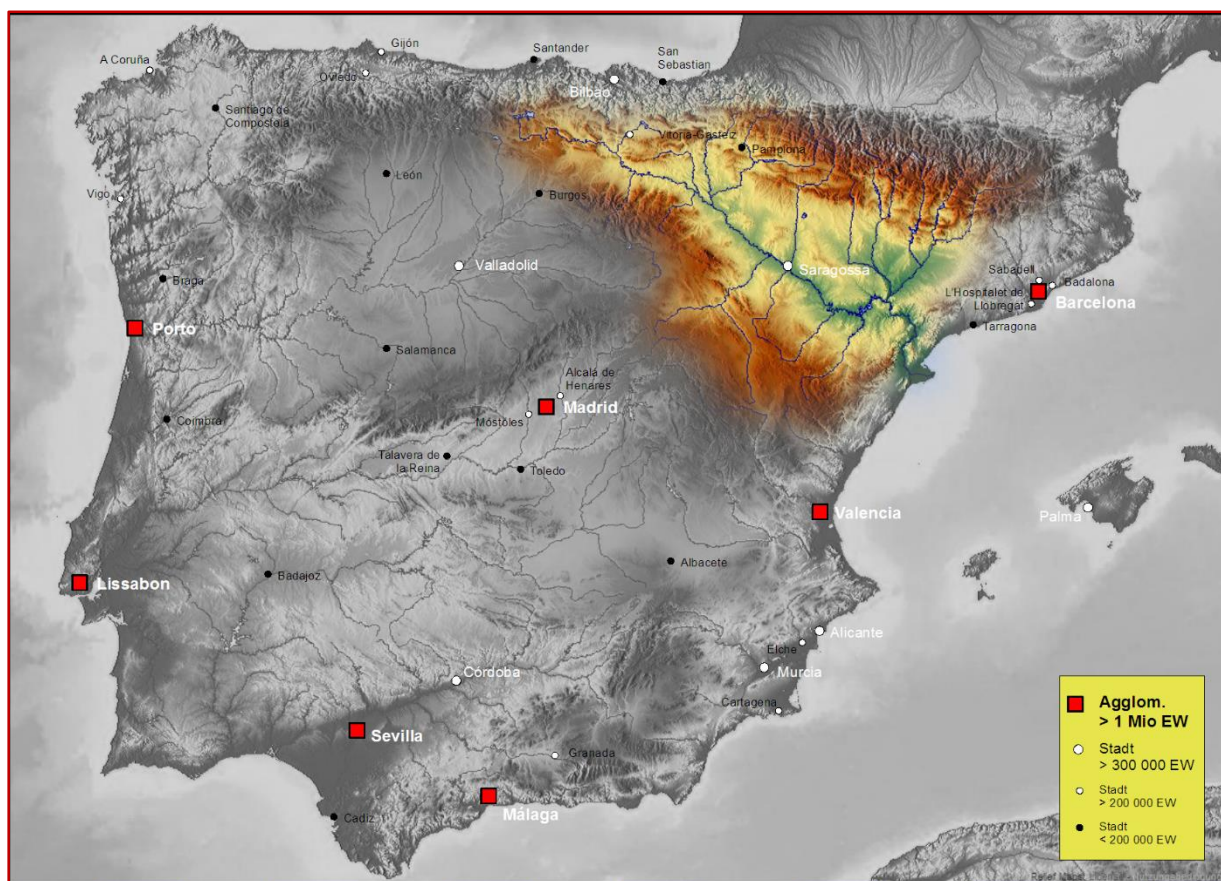


Figura 1.1 - Conca Hidrogràfica de l'Ebre | Font: Port(u*)o's | Llicència C.C | Escala : 1:5.000.000.

La part on es centra aquest PFC és en l'estudi del Delta de l'Ebre, més concretament en el seu contorn exterior. Estudiant principalment les variacions que s'han anat produint al llarg dels diferents anys.

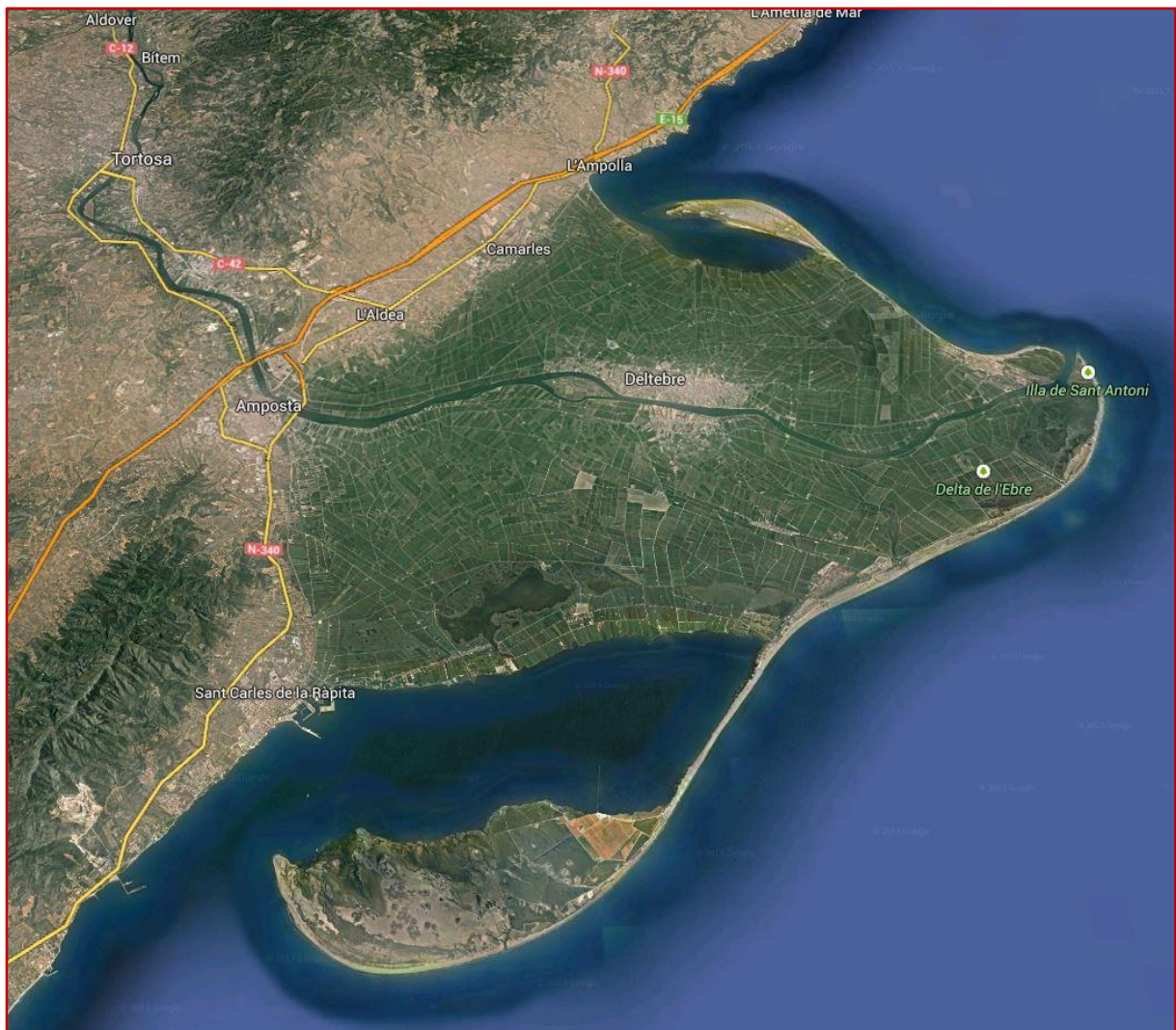


Figura 1.2- Delta de l'Ebre | Font: GOOGLE | Escala: 1:250.000

El Delta de l'Ebre constitueix la major zona humida de Catalunya. S'estén per una superfície de 320³ km² i forma part íntegrament del Parc Natural del Delta de l'Ebre. El Parc Natural es constitueix l'any 1983⁴ per donar protecció als elements que trobem en les zones deltaiques de gran superfície. Elements naturals que comporten una gran riquesa ambiental com salines, badies, platges, dunes, salobrars, boscos de ribera, llacunes i illes fluvials. A més a més també és una zona que acull una gran diversitat d'organismes protegits. (Figura 1.2)

^{3,4} Parc Natural del Delta de l'Ebre. Generalitat de Catalunya

1.3 Descripció geològica

Un delta es defineix principalment per referir-se a tots els dipòsits formats per un corrent fluvial en la seva desembocadura. D'aquesta definició podem extreure que un delta és una formació netament sedimentària que es produeix en el moment en que un corrent fluvial entra en contacte amb un corrent marí. Donat que en el contacte es produeix un descens brusc de la velocitat del corrent fluvial, les partícules que eren transportades per aquest corrent comencen a precipitar per efecte gravitatori. Depenent de l'estructura prèvia o de l'evolució del delta aquestes partícules sedimentades gravitatòriament poden trobar-se per sota el nivell del mar i redistribuir-se o bé emergir, formant, aleshores, un delta visible. (Figura 1.3)

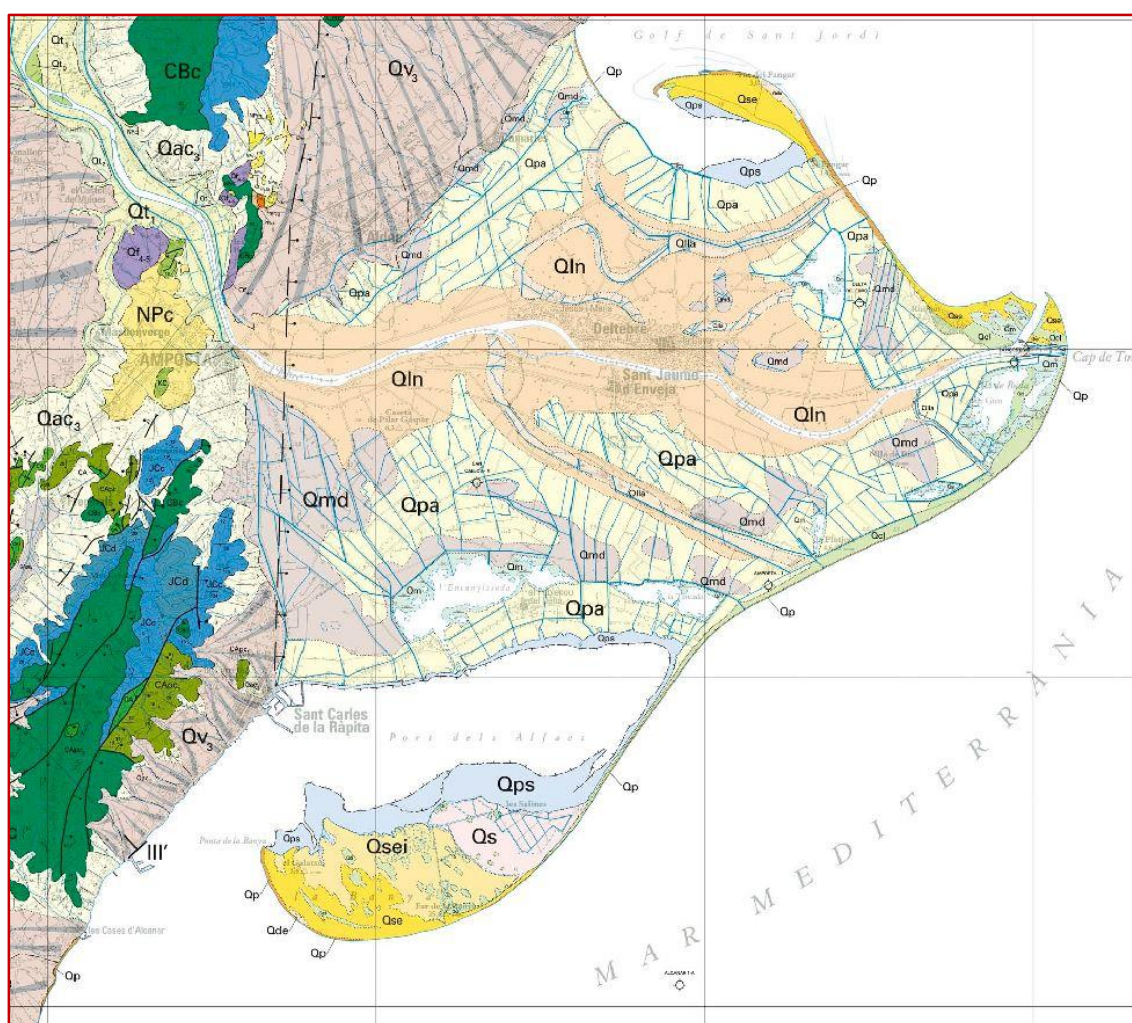


Figura 1.3 - Mapa Geològic Delta de l'Ebre | Font: IGC | Escala: 1:250.000 (Llegenda a l'annex)

Per la naturalesa dels materials transportats (granulometria molt fina) els deltes estan formats principalment per sorres (0,063 – 2 mm), llims (0,063 – 0,002 mm) i argiles (< 0,002 mm).

La geologia de les zones deltaïques s'ha d'interpretar com una geologia viva ja que està en constant evolució donat que simultàniament s'estan produint processos de sedimentació i processos d'erosió. Depenent de la intensitat de cada procés, el resultat evolutiu del delta serà expansiu o regressiu.

El procés sedimentari principal és l'acumulació de material en el front deltaic, en forma de barres inclinades de manera que trobem el material més antic a la part inferior – costat continental i el material més modern (sedimentat més tard) a la part superior – costat marí.

Els historiadors geològics daten l'origen del Delta de l'Ebre en el moment en que la conca interna va obrir-se cap al mar Mediterrani, aquest fet succeí fa 5,3 milions d'anys ⁵. Estudiant l'edat dels materials s'ha trobat orígens situats vora els 3,5 milions d'anys ⁶, fet que consolida la hipòtesi i ens serveix per fixar l'origen.

D'ençà aquest origen el Delta de l'Ebre ha anat evolucionant de manera expansiva o regressiva segons les condicions del medi general en que es trobava la superfície terrestre fins a les dimensions actuals que coneixem.

^{5,6} Parc Natural del Delta de l'Ebre. Generalitat de Catalunya

1.4 Objectius

L'objectiu principal d'aquest PFC és elaborar una cartografia que mostri l'evolució dels límits de costa del Delta de l'Ebre al llarg del segle XX-XXI. D'aquesta manera, observant la cartografia resultant es podran analitzar els canvis morfològics que ha patit, quantificar i estudiar-los des d'un punt de vista geològic i geogràfic.

Paral·lelament a aquest objectiu, i en conseqüència amb els processos aplicats a les diferents fonts d'informació es deriven el següents objectius.

1. Càlcul d'una taxa de desintegració del Delta de l'Ebre en els darrers anys.

Aprofitant l'accés a imatges d'alta resolució SPOT dels darrers anys, sabent que els processos que s'apliquen per obtenir els vectors del límit de costa són automatitzats (mateix error sistemàtic en tots els anàlisis) i que part del procés consisteix en discriminar, mitjançant una imatge ràster, el terreny del mar es pot efectuar una comparació de línies de costa i un comptatge de píxels i càlculs d'àrea per poder establir amb la màxima precisió possible la variació del terreny que es produeix any a any.

2. Anàlisi de la regressió com a conseqüència de la construcció massiva de preses al riu Ebre.

Per intentar associar els canvis que ha produït la construcció de preses s'ha eliminat els factors ambientals com la subducció de plaques o el canvi climàtic. Per portar-ho a terme s'ha analitzat la variació o canvis morfològics entre els períodes 1919-1957 (previ a les construccions de preses) i entre els períodes 1970 – actualitat (posterior a la consolidació de les preses). Amb la comparació de les dues cartografies es pot extreure, en una primeríssima aproximació, l'afectació del Delta derivada de l'acció antròpica

3. Anàlisi d'errors entre els vectors digitalitzats i les imatges de teledetecció.

Finalment, el darrer objectiu servirà per donar consistència a les cartografies generades ja que es pretén vectoritzar manualment el MTN50 més modern (provinent de la rasterització de la cartografia vectorial de l'IGN) i comparar-lo amb el MTN50 en format vectorial que també distribueix l'IGN. D'aquesta manera es pretén observar les variacions que es produeixen i comprovar si els anàlisis fets al llarg del PFC que comparin processos manuals i processos automàtics són vàlids.

2 FONTS D'INFORMACIÓ

2.1 Fonts d'informació

Les diferents fonts d'informació que s'han emprat per fer aquest PFC s'han triat intentant ajustar-se el màxim possible als següents criteris:

S'ha triat sempre les fonts amb més qualitat possible. *Per exemple imatges SPOT vs LandSat.*

També s'ha fet servir com a criteri triar aquelles fonts d'informació on s'haguessin d'emprar menys processos, per tal de reduir errors acumulats. *Per exemple s'ha treballat sempre amb elements georeferenciats per així evitar els errors que se'n deriven de fer una georeferenciació manual.*

Finalment, sempre que ha estat possible s'han triat formats on es pogués fer una vectorització automatitzada per així reduir l'error de fer una vectorització manual. *Per exemple imatges ràster de Teledetecció vs Mapes escanejats.*

Les dades utilitzades en aquest PFC provenen principalment de cartografia analògica i d'imatges satèl·lit. Les dades aporten informació des de l'any 1919 fins al 2014. La relació de tots els fitxers que s'han emprat és pot observar en la Taula 2.1.

Taula 2.1 - Fonts d'Informació (Any, Format, Origen, Procés)

ANY	FORMAT	ORIGEN	PROCÉS
1919	<i>MTN50 (escanejat)</i>	<i>IGN</i>	<i>Vectorització manual</i>
1938	<i>MTN50 (escanejat)</i>	<i>IGN</i>	<i>Vectorització manual</i>
1957	<i>Fotografia aèria (Americans)</i>	<i>ICC</i>	<i>Vectorització manual</i>
1972	<i>LandSat 1</i>	<i>USGS</i>	<i>Vectorització automàtica</i>
1984	<i>LandSat 4-5</i>	<i>USGS</i>	<i>Vectorització automàtica</i>
1990	<i>LandSat 4-5</i>	<i>USGS</i>	<i>Vectorització automàtica</i>
1999	<i>LandSat 4-5</i>	<i>USGS</i>	<i>Vectorització automàtica</i>
2005	<i>SPOT</i>	<i>IGN</i>	<i>Vectorització automàtica</i>
2007	<i>LandSat 4-5</i>	<i>USGS</i>	<i>Vectorització automàtica</i>
2010	<i>SPOT</i>	<i>IGN</i>	<i>Vectorització automàtica</i>
2012	<i>MTN50 (escanejat)</i>	<i>IGN</i>	<i>Vectorització manual</i>
2013	<i>LandSat 8</i>	<i>USGS</i>	<i>Vectorització automàtica</i>
2014	<i>LandSat 8</i>	<i>USGS</i>	<i>Vectorització automàtica</i>

2.2 Mapes analògics

2.2.1 MTN50 1919

La font d'informació que s'ha emprat per extreure les dades més antigues d'aquest projecte és el MTN50 de l'any 1919 que es pot veure a la Figura 2.1. Aquest mapa el facilita l'IGN a través del seu servidor web. Com en tots els fitxers extrets de l'IGN que s'han fet servir en aquest PFC s'ha acceptat la llicència d'ús que permet emprar tots els mapes georeferenciats sempre que s'utilitzin amb finalitats no comercial i s'esmenti l'origen i el propietari del fitxer, en aquest cas l'IGN.

El MTN50 està dividit en 1100 planes de dimensió 10' de latitud i 20' de longitud, d'aquesta manera cada full té una superfície aproximada de 50.000 ha⁷. Donada la nostra superfície d'estudi és necessari emprar 3 planes diferents. Aquestes planes corresponen a la 522 (Tortosa) cartografiada l'any 1919, la plana 523 (Buda) cartografiada l'any 1918 i la plana 547 (Alcanar) cartografiada l'any 1920.



Figura 2.1 - Plana 522 (Tortosa) del MTN50 1919 | Font: IGN

Aquestes planes estan escanejades amb una resolució 400ppm i malgrat en l'origen la cartografia va ser elaborada emprant l'el·lipsoide de Struve i el datum Madrid (origen a l'observatori de El Retiro) actualment l'IGN les distribueix georeferenciades emprant el model d'el·lipsoide de Hayford i el datum Europeu 1950 (ED50).

⁷ Institut Geogràfic Nacional

S'ha optat per obtenir els fitxes georeferenciats per dos motius, el primer per disminuir els errors del projecte ja que s'accepta que una georeferenciació feta i segurament automatitzada per l'IGN és més fiable i conté menys errors sistemàtics que una georeferenciació manual i individual de cada plana del projecte. Tanmateix, tampoc és menyspreable el segon motiu que consisteix en evitar la redundància i optimitzar el temps de treball per poder aprofundir en els altres objectius.

2.2.2 MTN50 1938

La font d'informació que s'ha emprat per extreure les dades referents a l'any 1938 també ha estat un MTN50. D'aquesta manera, els procediments aplicats han estat molt similars al cas anterior. Malgrat la mateixa procedència cal remarcar un altre cop que el format és un mapa georeferenciat amb l'el·lipsoide de Hayford i el datum ED50.

L'única diferència remarcable la trobem en la part representativa on en aquest cas, trobem un mapa molt més auster, amb una quadricula quilomètrica amb origen a Madrid. Totes aquestes observacions de la Figura 2.2, situades en el context de l'any 38, ens fan creure la hipòtesi que aquest mapa estava destinat a un ús militar.

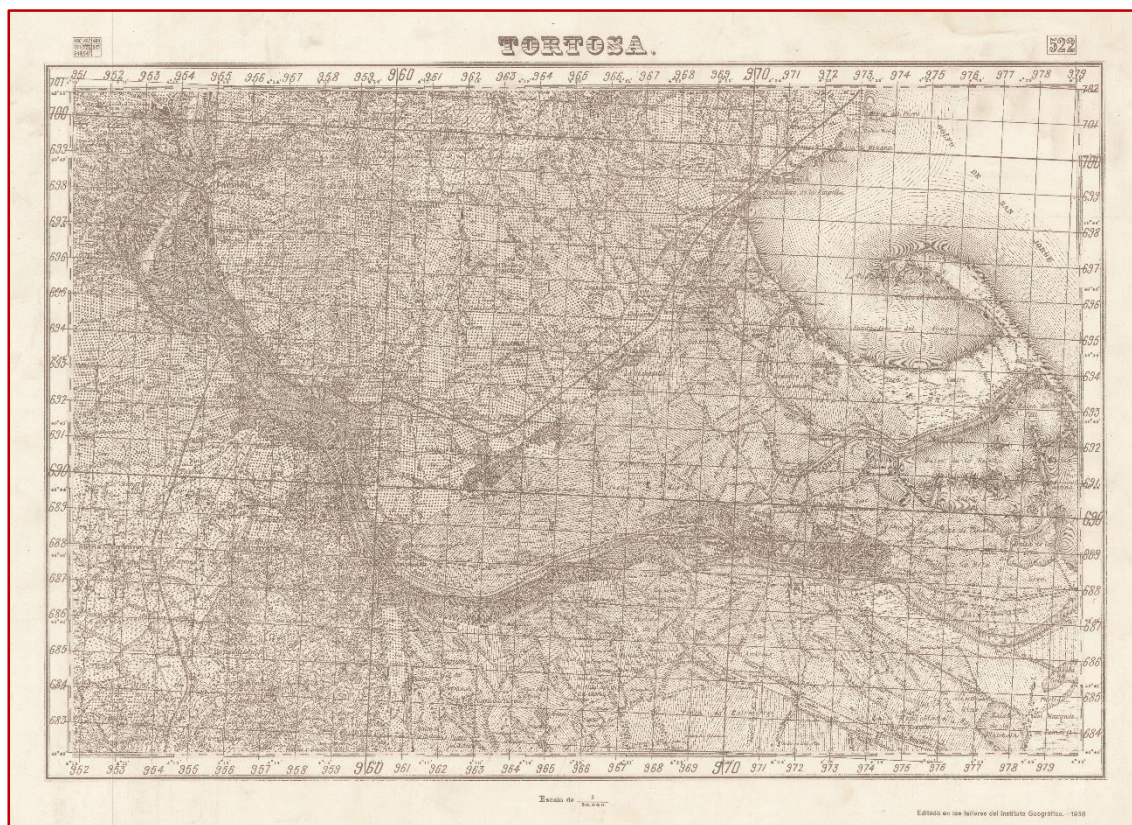


Figura 2.2 - Plana 522 (Tortosa) del MTN50 1938 | Font: IGN

Les planes del MTN50 emprades per aquesta digitalització han estat, Plana 522 (Tortosa) de l'any 1938, plana 523 (Buda) de l'any 1942 i la plana 547 (Alcanar) de l'any 1938.

2.3 Fotografia Aèria 1956/57

La font d'informació triada per obtenir el límit de costa de mitjans de segle XX són les ortofotografies realitzades per l'exercit Americà entre l'any 1956 i 1957. Aquestes fotografies conegudes usualment com les fotografies del vol americà (USAF56) sorgeixen de la necessitat d'elaborar per part dels Estats Units d'Amèrica una cartografia militar d'abast mundial. Davant l'interès estratègic d'Espanya durant la guerra freda i el retard econòmic i tecnològic de l'estat espanyol el 23 de setembre del 1953 es firma un conveni de defensa on España cedia els drets de trànsit i aterratge i consolidava les bases militars americanes en sòl espanyol. A canvi l'estat rebia material militar, armament, una modernització de les bases aèries i una nova cartografia actualitzada. És per aquest darrer punt i per l'alt interès estratègic, donat el context històric, que l'exercit americà inicia la captura d'imatges aèries. (Figura 2.3)

Aquestes captures es realitzen en format blanc i negre, amb un recobriment estereoscòpic del 60% en sentit longitudinal i 30% en el transversal. Les captures són preses a una alçada de 5.500 metres amb una escala mitja de 1:33.000 i tenen una resolució geomètrica d'1 m/píxel.



Figura 2.3 - Fotograma del Vol Americà | Font: santiagodelapuebla.com

Les imatges estan conservades al CECAF i s'han distribuït pel seu estudi als diferents estaments governamentals, mitjançant les còpies digitals de les que disposa l'IGN. Així doncs, l'ICC, les diputacions o les confederacions hidrogràfiques entre d'altres disposen d'aquest material.

Per elaborar aquest PFC vaig sol·licitar a l'ICC i a les diputacions, sota la condició d'estudiant, la cessió d'aquest material o l'accés als fitxers digitalitzats que s'exposen públicament mitjançant servidors WMS però em van respondre negativament.

Donat que les imatges són de caràcter eminentment públic l'ICC les distribueix a qualsevol usuari seguint l'estàndard WMS. Aquesta manera d'accedir a les dades permet que qualsevol usuari pugui obrir i visualitzar de manera georeferenciada les ortofotografies. Aprofitant aquesta característica, i que el MiraMon (apartat 3.1) permet guardar tots els fitxers que s'estan visualitzant vaig poder descarregar-me un mosaic georeferenciat compostat per totes les ortofotografies com es pot observar en la Figura 2.4.

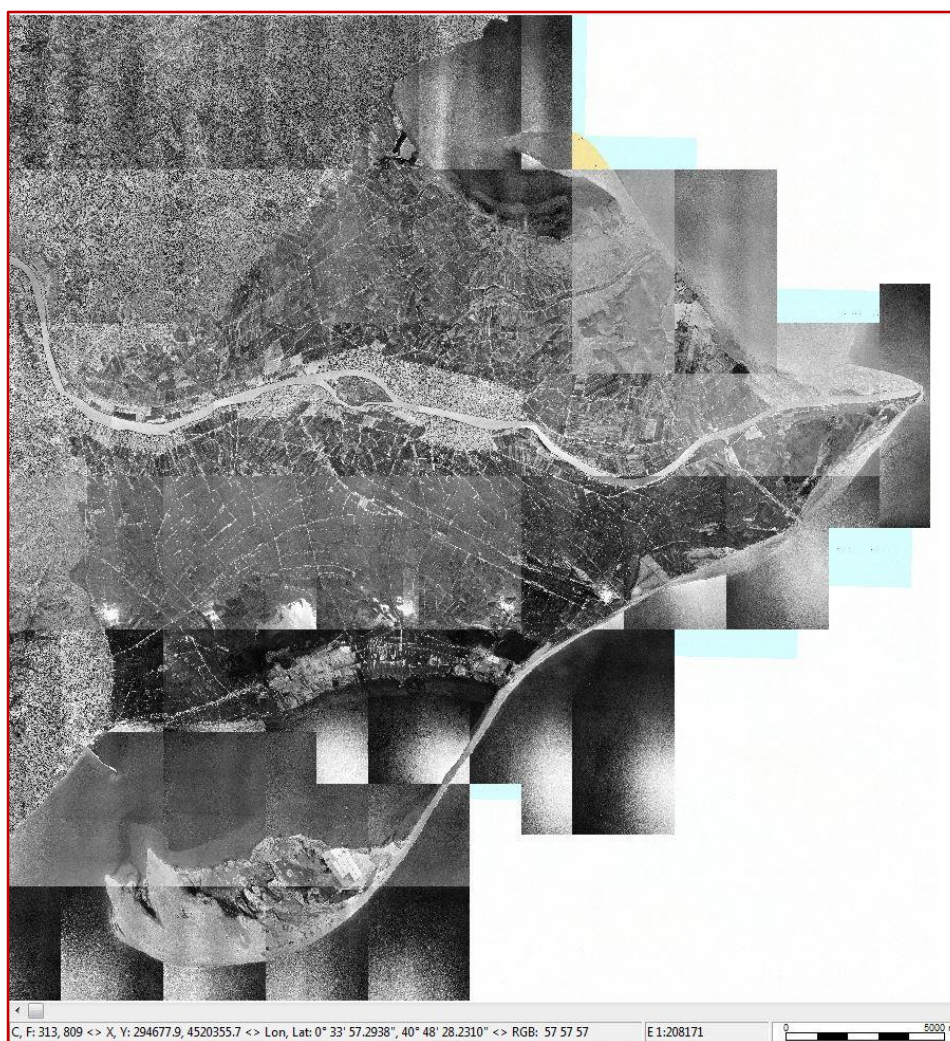


Figura 2.4 -Mosaic Ortofotografia Vol Americà | Font: ICC

2.4 Imatges Satèl·lit

2.4.1 Introducció a la Teledetecció

En aquest apartat del treball es presenta una petita introducció a la teledetecció per introduir conceptes que més endavant s'han fet servir per referir-se als fitxers treballats.

Es pot definir la teledetecció com *la ciència i l'art d'obtenir informació sobre la superfície de la terra sense entrar en contacte amb ella. Detectant i gravant l'energia emesa o reflectida i processant, analitzant i aplicant aquesta informació.* (Arbelo, 2012)

Partint de la definició anterior determinem que la teledetecció es basa en l'estudi i la caracterització de l'energia emesa o reflectida per la terra que un sensor situat al satèl·lit pot capturar sobre una zona concreta. Aquesta informació de l'energia és posteriorment tractada i manipulada amb un programari per obtenir, com a informació, diferents respostes de la superfície de la terra. Així doncs, amb aquesta eina podem obtenir informació més o menys precisa dels cultius vegetals, de les superfícies glacials, de les zones urbanes o de sistemes hidrogràfics entre d'altres.

El factor més important que determina l'ús de la teledetecció i caracteritza els sensors i les aplicacions que se'n deriven és el concepte de resolució. La resolució és una propietat que ens determina el rang de valors que pot emprar un determinat sensor. En teledetecció ens interessa, i per tant, definirem quatre tipus de resolucions. *La resolució espectral, la resolució espacial, la resolució temporal i la resolució radiomètrica.*

2.4.1.1 Resolució espectral

L'energia que captura el sensor és aquella que emet la superfície de la terra o bé reflexa de l'emesa pel sol. Si entenem l'energia com un puls electromagnètic podem definir el seu espectre, és a dir, podem definir el rang on trobem els diferents "tipus" d'energia que es caracteritzen per tenir una longitud d'ona i una freqüència concreta.

Aquest espectre electromagnètic que trobem en la Figura 2.5 ens caracteritza els diferents tipus d'energia que existeixen i per tant els que la terra pot emetre o reflectir. Nosaltres com a éssers humans, igual que un satèl·lit, podem detectar part d'aquesta energia amb els nostres sensors particulars: els ulls. Aquests capturen la part de l'espectre electromagnètic que se'n diu visible que és el rang d'energia compres entre una longitud d'ona de 0,4 μm i 0,8 μm .

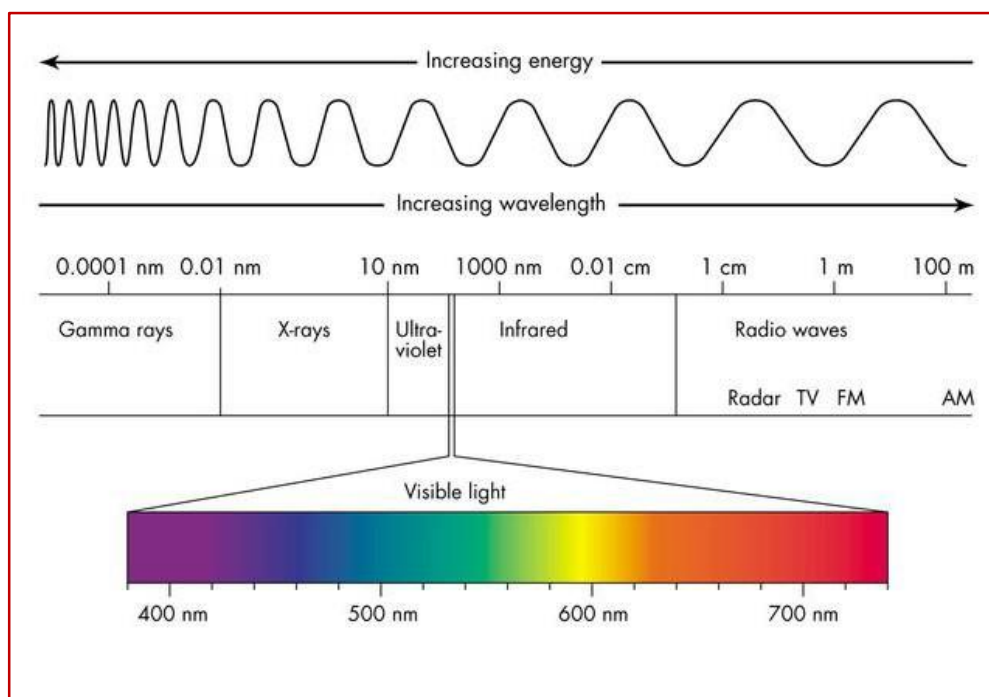


Figura 2.5 - Espectre Electromagnètic

Així doncs podem definir la resolució espectral com el rang d'energia que pot capturar el nostre sensor. Aquesta informació és determinant ja que depenent de l'ús que vulguem fer de les imatges haurem de buscar una part de l'espectre concret. El més habitual és trobar sensors que treballen en l'espectre visible i en l'espectre infraroig capturant la informació en bandes diferents (es a dir, efectuant diferents fotografies).

2.4.1.2 Resolució espacial

Per entendre la resolució espacial primer s'ha d'introduir el concepte de píxel. Per això, es defineix el píxel com la unitat mínima d'una imatge, és a dir, l'última part indivisible d'aquesta. Els sensors relacionen cada píxel que compon la imatge amb el valor d'energia capturada en aquell punt. D'aquesta manera, es pot definir la resolució espacial com el nombre de metres de terreny que queden capturats en un píxel. Quan més alta sigui la resolució espacial voldrà dir que per a un mateix terreny aquest es pot definir amb un nombre més alt de píxels i per tant el valor d'aquests píxels (la resposta energètica) tendeix a ser més representatiu. (Figura 2.6)

És habitual treballar amb resolucions que van des del quilòmetre fins el metre. Aquesta és una característica important com veurem al llarg d'aquest PFC ja que ens permet tenir més o menys definició a l'hora de fer càlculs.

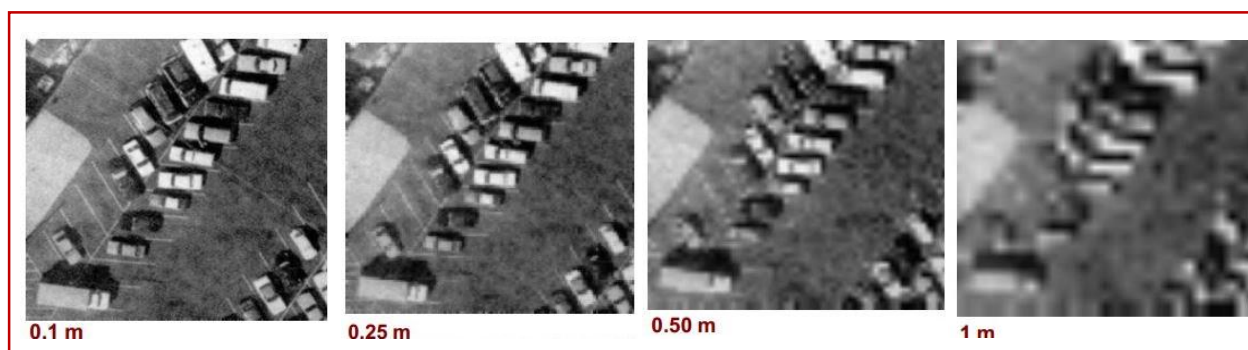


Figura 2.6 - Diferents resolucions espacials.

Es considera una bona resolució aquella que baixa dels 5 metres per píxel. Per entendre la magnitud d'aquesta dada s'ha de tenir present que aquesta resolució implica que un satèl·lit que està en una òrbita aproximadament de 1000 km d'alçada es capaç de capturar imatges on cada píxel representa 5 metres de terreny.

Actualment es pot treballar amb satèl·lits capaços de capturar imatges amb resolucions espacials de 0,61 metres (Satèl·lit Quickbird).

2.4.1.3 Resolució temporal

La resolució temporal és una propietat del satèl·lit i la podem definir com la periodicitat amb la que aquest pot obtenir una imatge d'un punt concret, és a dir, ens determina quan de temps ha de passar entre una captura d'un punt concret i la següent captura que tornarà a fer en aquell mateix punt.

Aquesta característica és important si volem estudiar fenòmens concrets que es desenvolupen amb una certa celeritat. Un exemple molt clar és l'ús de la teledetecció per l'estudi de la meteorologia. (Figura 2.7) Com veurem, amb els sensors que s'ha treballat en aquest estudi no es podria fer mai un estudi/previsió del temps donat que la resolució temporal és molt alta.

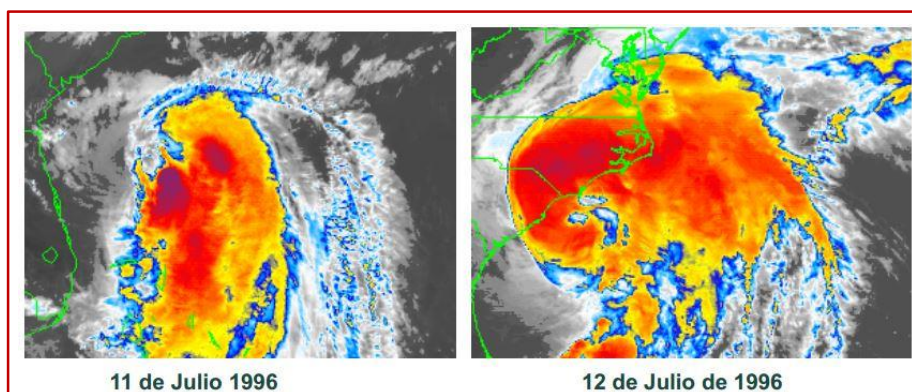


Figura 2.7 - Resolució temporal de 24 hores

2.4.1.4 Resolució radiomètrica

La resolució radiomètrica és la característica del sensor que ens regula la profunditat o capacitat d'emmagatzematge del píxel. S'ha mencionat abans que en cada píxel s'assigna el valor de l'energia que el satèl·lit captura en aquell moment. La resolució radiomètrica ens determina la precisió, respecte el valor real, del valor que podem assignar al píxel. La resolució radiomètrica la mesurem amb bits, d'aquesta manera una resolució radiomètrica de 8 bits vol dir que en cada píxel es pot assignar un valor comprés entre 0 i 255. És a dir, hem de graduar la resposta energètica que es captura en 256 valors. En canvi, una resolució radiomètrica de 10 bits ens permet graduar la resposta energètica en 1024 valors, esdevenint, per a una mateixa situació més precís.

2.4.1.5 Sensors

La teledetecció no només s'explica a partir de la definició dels sensors i les seves resolucions ja que les imatges per si soles no representen res i és necessari tot un apartat de manipulacions i tractaments que esdevenen la veritable ciència i art que es definien al principi d'aquest capítol, tot i així, aquesta part no s'explica en aquesta introducció perquè el tractament i la gestió de les imatges forma part del projecte i s'explicarà en els propers apartats.

Finalment, per acabar la introducció a la teledetecció s'adjunta la Taula 2.2 amb les resolucions dels diferents sensors i satèl·lits que s'han fet servir en el PFC i que d'aquí en endavant s'aniran anomenant.

Taula 2.2 - Resum de les resolucions dels sensors utilitzats

Satèl·lit	Sensor	R. Espectral	R. Espacial	R. Temporal	R. Radiomètrica
LandSat 1	MSS	4 bandes	80 m	18 dies	8 bits
LandSat 5	TM	7 bandes	30 m	16 dies	8 bits
LandSat 8	OLI-TIRS	11 bandes	30 m / 15 m	16 dies	8 bits
SPOT	SPOT 5	4 bandes	2,5 m	3 dies	8 bits

2.4.2 Imatges LandSat

2.4.2.1 LandSat 1 MSS

La font d'informació de l'any 1972 correspon a una imatge de teledetecció capturada pel satèl·lit ERTS-1. Aquest satèl·lit s'anomenà posteriorment LandSat 1 ja que va ser el primer satèl·lit de la sèrie LandSat que es va llançar a l'espai. Aquest llançament es produí el 23 de juliol del 1972. L'ERTS-1 va estar en funcionament fins el 5 de gener de 1978.

Aquest satèl·lit emprava un sensor MSS que orbitava a una alçada de 913 km, trigava 103 minuts en realitzar una òrbita completa i cada 18 dies repetia cicle de gravació. Aquest sensor capturava una àrea de 185 km². Obtenia la informació en 4 bandes diferents, cadascuna d'elles amb una resolució espacial de 80 metres com s'observa en la Taula 2.3.

Taula 2.3 - Bandes Espectrals LandSat 1 MSS

Banda	Nom	Rang Espectral (μm)	Resolució Espacial (m)
4	<i>Blava</i>	<i>0,5 – 0,6</i>	<i>80</i>
5	<i>Verda</i>	<i>0,6 – 0,7</i>	<i>80</i>
6	<i>Vermella</i>	<i>0,7 – 0,8</i>	<i>80</i>
7	<i>Infraroig proper (IRp)</i>	<i>0,8 – 1,1</i>	<i>80</i>

Aquestes imatges les distribueix el servei Geològic Americà USGS mitjançant el servidor GLOVIS. (Figura 2.8) La distribució de les imatges és gratuïta amb un registre previ. Un cop determinada la imatge que es vol descarregar s'ha de fer la sol·licitud i esperar uns dies ja que l'USGS aplica un software de correcció a la imatge abans de distribuir-la.

La imatge que s'ha emprat és la primera imatge de la zona del Delta de l'Ebre capturada i que compleix un mínim de qualitat (absència de núvols). La captura es va produir el 18 d'agost de 1972 (25 dies després del llançament del satèl·lit).

Aquesta imatge ens permetrà per primer cop en aquest PFC aplicar mètodes analítics informatitzats i sistematitzats per poder delimitar el límit de la costa i així poder comparar de manera més sistemàtica diferents imatges capturades en diferents èpoques.

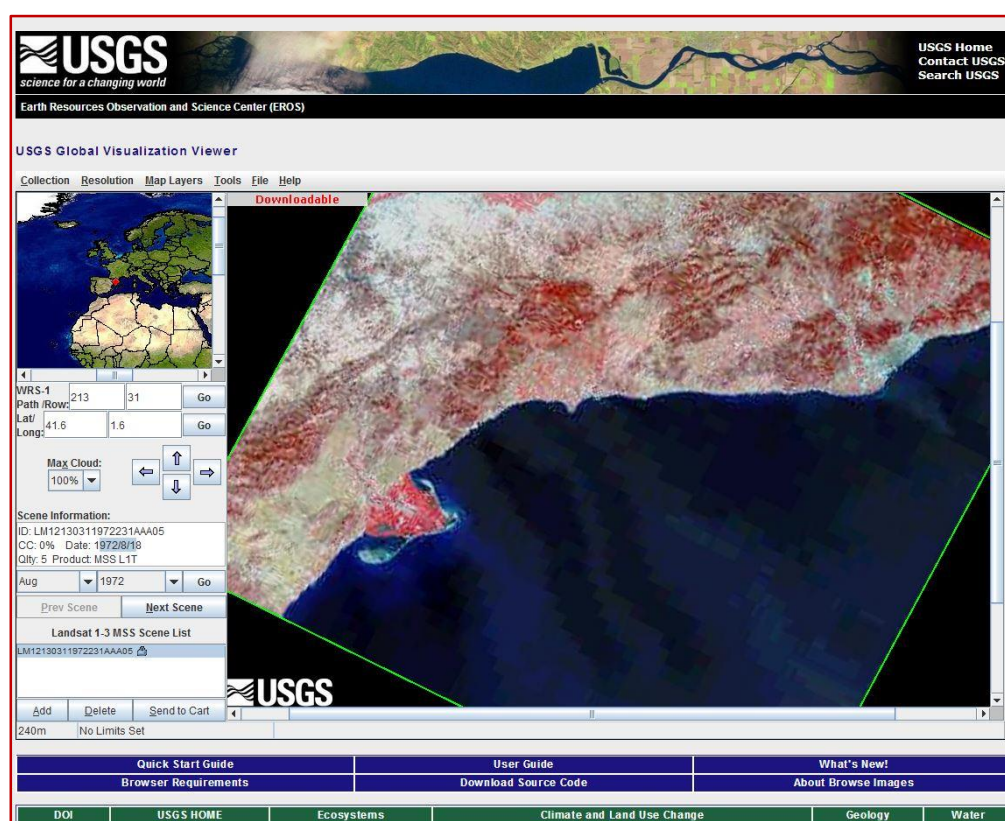


Figura 2.8 - Servidor d'imatges LandSat Glovis

2.4.2.2 LandSat 5 TM

Les fonts d'informació dels anys 1984, 1990, 1999 i 2007 corresponen a unes imatges de teledetecció capturades pel satèl·lit LandSat 5 amb el sensor TM. Aquest satèl·lit va ser llançat l'1 de març de 1984 i representava una millora substancial respecte el sensor MMS vist anteriorment. El LandSat 5 va capturar la seva última imatge el 6 de gener de 2013, trobant-se actualment fora de servei. Orbitava a una alçada de 705km, i era capaç de fer una òrbita sencera en 98,9 minuts completant cada 18 dies el cicle de gravació.

Taula 2.4 - Bandes espectrals LandSat 5 TM

Banda	Nom	Rang Espectral (μm)	Resolució Espacial (m)
1	Blava	0,45 – 0,52	30
2	Verda	0,52 – 0,60	30
3	Vermella	0,63 – 0,69	30
4	Infraroig proper (IRp)	0,76 – 0,90	30
5	Infraroig mig (IRm)	1,55 – 1,75	30
6	Infraroig tèrmic	10,4 – 12,5	120
7	Infraroig llunyà (IRll)	2,08 – 2,35	30

Les millores principals que incorpora aquest sensor és la capacitat d'obtenir informació en set bandes espectrals diferents. (Taula 2.4) Tres visibles (verd, blau, vermell), una a l'infraroig proper, dues a l'infraroig llunyà i finalment una en l'infraroig tèrmic. A més a més, també incorpora una millora en la resolució ja que les bandes compreses entre la 1 a la 5 i la banda 7 tenen una resolució espacial de 30 metres mentre que la banda 6 té una resolució de 120 metres. L'àrea que comprenen les imatges és de 185 km²

Taula 2.5 - Relació de dates de les imatges LandSat 5 TM

Any	Data
1984	28 de juliol
1990	6 d'agost
1999	14 de juliol
2007	14 de juliol

Les imatges també s'han obtingut del servidor GLOVIS del USGS vist en la Figura 2.8. En l'apartat del processat s'explicarà tot el procediment que s'ha emprat per treballar la imatge de l'any 1984 que alhora és extrapolable a totes les imatges d'aquest sensor que s'han fet servir en aquest treball. (1984, 1990, 1999, 2007)

Aquestes imatges s'han emprat per donar resposta als diferents objectius plantejats a l'inici del PFC, per aquest motiu s'ha buscat imatges de les diferents èpoques que tinguessin una cobertura acceptable (absència de núvols) i que estiguessin capturades durant la mateixa època de l'any com es pot apreciar en la Taula 2.5.

2.4.2.3 LandSat 8 OLI-TIRS

Les imatges que s'han emprat en aquest procés són molt similars a les explicades anteriorment. En aquest cas són preses amb una nova versió del satèl·lit LandSat.

El Landsat 8 va ser llançat l'11 de febrer de 2013 i és la versió més moderna actualment del programa LandSat. Aquest satèl·lit consta d'11 bandes i representa una millora considerable en la qualitat de les imatges. La resolució en les bandes espectrals s'ha mantingut en els ja coneguts 30 metres i s'ha rebaixat a 15 metres la resolució de la banda pancromàtica.

El satèl·lit LandSat està proveït de dos sensors. El sensor OLI (*Operational Land Imager*) és l'encarregat de capturar les nou bandes de baixa resposta espectral mentre que el sensor TIRS

(*Thermal Infrared Sensor*) s'encarrega de capturar les bandes 10 i 11 associades a l'infraroig llunyà. Aquestes bandes es podent observar en la Taula 2.6.

Taula 2.6 - Bandes espectrals LandSat 8 OLI - TIRS

Banda	Nom	Rang Espectral (μm)	Resolució Espacial (m)
1	<i>Costera / Aerosol</i>	<i>0,43 – 0,45</i>	<i>30</i>
2	<i>Blava</i>	<i>0,45 – 0,51</i>	<i>30</i>
3	<i>Verda</i>	<i>0,52 – 0,60</i>	<i>30</i>
4	<i>Vermella</i>	<i>0,63 – 0,68</i>	<i>30</i>
5	<i>Infraroig proper (IRp)</i>	<i>0,84 – 0,88</i>	<i>30</i>
6	<i>Infraroig mig (IRm)</i>	<i>1,56 – 1,66</i>	<i>30</i>
7	<i>Infraroig mig (IRm)</i>	<i>2,10 – 2,30</i>	<i>30</i>
8	<i>Pancromàtica</i>	<i>0,50 – 0,68</i>	<i>15</i>
9	<i>Cirrus</i>	<i>1,36 – 1,39</i>	<i>30</i>
10	<i>Infraroig llunyà</i>	<i>10,30 – 11,30</i>	<i>100</i>
11	<i>Infraroig llunyà</i>	<i>11,50 – 12,50</i>	<i>100</i>

Com totes les imatges LandSat del projecte s'han extret del servidor Glovis. S'han emprat aquestes imatges per obtenir la última captura d'informació possible (any 2014) per efectuar el treball.

2.4.3 SPOT 5

Les imatges que s'han emprat en aquest apartat han estat capturades pel satèl·lit SPOT 5. Aquest satèl·lit correspon a la tercera generació dels satèl·lits desenvolupats pel Centre Nacional d'Estudis Espacials Francès (CNES).

Aquest satèl·lit orbita a una distància de 822 km i va ser llançat el 3 de maig de 2002. Captura imatges amb una resolució de 2,5 metres en format pancromàtic i captura les imatges en 4 bandes diferents. La banda del verd, vermell, Infraroig Proper i Infraroig Mig com s'observa en la Taula 2.7 juntament amb les respectives resolucions espacials.

Taula 2.7 - Bandes espectrals Spot 5

Banda	Nom	Rang Espectral (μm)	Resolució Espacial (m)
1	<i>Verda</i>	<i>0,50 – 0,59</i>	<i>10</i>
2	<i>Vermella</i>	<i>0,61 – 0,68</i>	<i>10</i>
3	<i>Infraroig proper (IRp)</i>	<i>0,78 – 0,89</i>	<i>10</i>
4	<i>Infraroig mig (IRm)</i>	<i>1,58 – 1,75</i>	<i>20</i>
-	<i>Pancromàtic</i>	<i>0,48 – 0,71</i>	<i>2,5</i>

Aquestes imatges corresponen al Plan Nacional de Teledetección (PNT) implementat per l'IGN que té com a objectiu adquirir imatges del territori espanyol de forma conjunta i cofinançada entre els Ministeris i les Comunitats Autònomes per a distribuir-les gratuïtament a les administracions públiques, universitats i organismes d'investigacions.

3 PROCESSAT

3.1 Programari

Per efectuar el processat de les fonts d'informació s'ha emprat el programari MiraMon versió 7 (Figura 3.1); un Sistema d'Informació Geogràfica i un programa de Teledetecció que permet la visualització, consulta, edició i anàlisi tant de capes ràster com de capes vectorials. Aquest programari ha estat elaborat pel CREAf a la UAB. És de llicència gratuïta exclusiva per a l'Administració Pública Catalana, Universitats i Centres de Recerca catalans i estudiants de Catalunya.



Figura 3.1 - Caràtula del MiraMon 7 (CREAF & UAB)

És un programari que ens ha servit per efectuar gairebé totes les parts del projecte, tot i que en algun moment concret per problemes amb els formats d'alguns fitxers s'ha hagut de treballar amb l'ArcMAP 10.2 d'ESRI. (Figura 3.2) També un cop generada at la cartografia s'ha implementat amb l'ArcMap per poder elaborar els mapes adjuntats en l'annex.

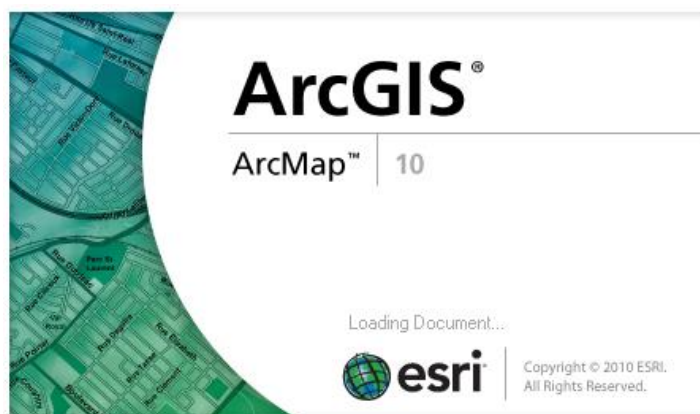


Figura 3.2 - Caràtula de l'ArcMAP 10.2 (ArcGIS - ESRI)

L'ArcMAP forma part d'una plataforma de programes (ArcGIS) d'informació que permeten crear, analitzar, emmagatzemar i difondre dades i mapes.

Per treballar amb aquest programari s'ha emprat els ordinadors de la EPSEB i de l'Escola de Camins de la UPC que tenen a disposició dels estudiants el programari amb la corresponent llicència.

3.2 Mapes analògics

3.2.1 MTN50 1919

Un cop tenim descarregat el fitxer l'hem obert amb el programari MiraMon i hem comprovat, mirant les metadades que genera el programa automàticament Figura 3.3, que el sistema de georeferenciació fos el correcte.

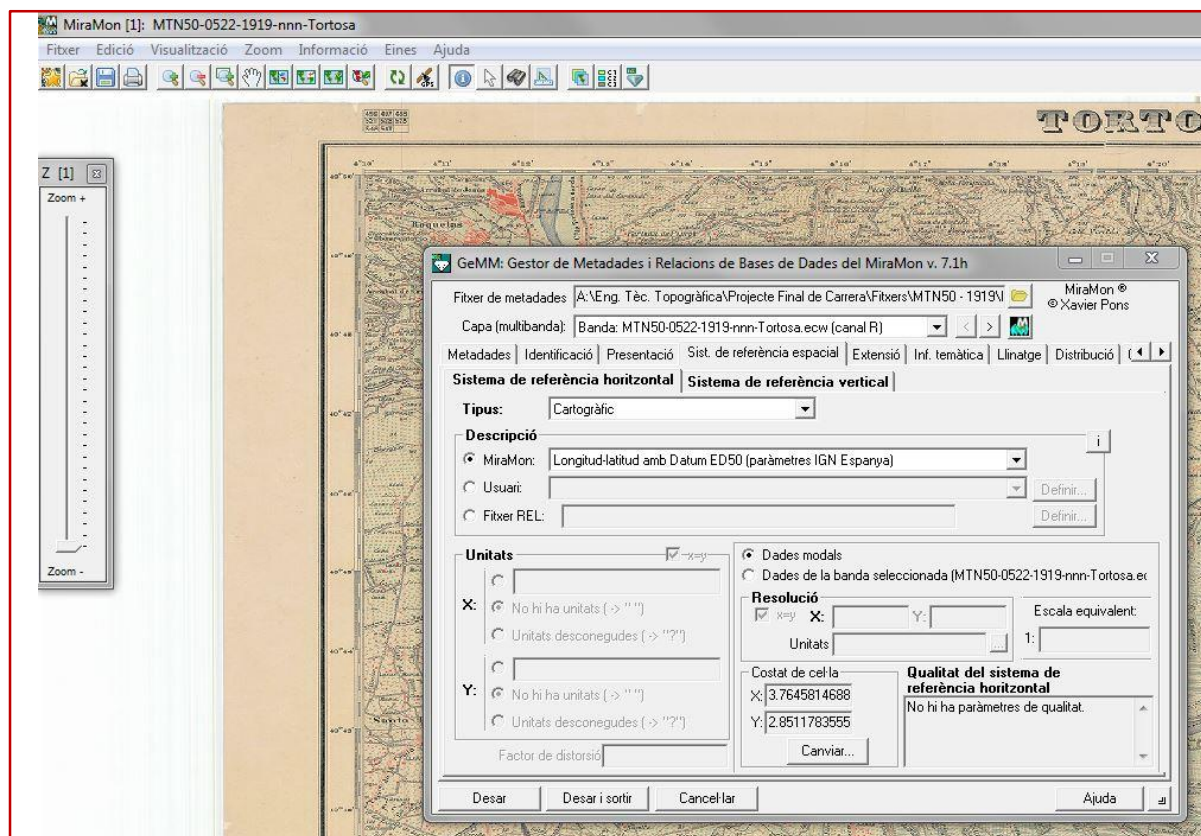


Figura 3.3 -Captura del programari MiraMon. Gestor de Metadades

La digitalització manual consisteix en crear un vector que podem anar adaptant, mitjançant la introducció de punts, a les línies i figures que conté la nostra imatge ràster. D'aquesta manera, adaptant totes les línies i figures a vectors i polígons, obtenim una còpia de la imatge ràster original. Aquesta diferència és vital per tots els processos de càlcul donat que la part indivisible d'una imatge ràster és el píxel (en el nostre cas, 400 punts per polzada [ppp] equivalen a 400 píxels en 2,5 cm aproximadament) i en una imatge digitalitzada el que obtenim no són píxels sinó coordenades de les entitats digitalitzades de tal manera que és l'ordinador qui calcula i representa les imatges.

Com veurem al llarg del PFC per alguns processos s'ha treballat amb fitxers ràster i s'ha aprofitat els píxels i les seves propietats per fer càlculs i per altra banda, per assolir altres objectius, s'ha treballat amb digitalitzacions vectorials.



Figura 3.4 - Detall del nivell d'ampliació

Per fer la digitalització i donar els punts al vector que anem generant s'ha emprat una tauleta digitalitzadora, ja que facilita la feina i aporta molta comoditat que alhora es transforma en una major reducció d'errors. Els punts s'han anat marcant a sobre de la imatge ampliada fins a resolucions gràfiques (no geogràfiques) de 27 cm/píxel com es veu a la Figura 3.4. Aquesta ampliació era prou gran per discernir els píxels entre ells però sense perdre entitat geogràfica ja que al llarg de l'elaboració del PFC s'ha observat que una ampliació excessiva fa perdre les entitats geomètriques i geogràfiques de l'entorn, induint a digitalitzar punts que no es corresponien.

Per l'àmbit d'estudi del projecte s'ha decidit digitalitzar el límit terra/mar, el contorn del riu i els contorns de les salines o entrades d'aigua més grans que s'han detectat.

Un cop la imatge està preparada es comença a crear vèrtexs donant coordenades al vector. Aquests vèrtexs s'han marcat al punts mig dels píxels que tenen un color més fosc i s'ha procurat donar coherència geomètrica. Aquest procés es mostra a la Figura 3.5.

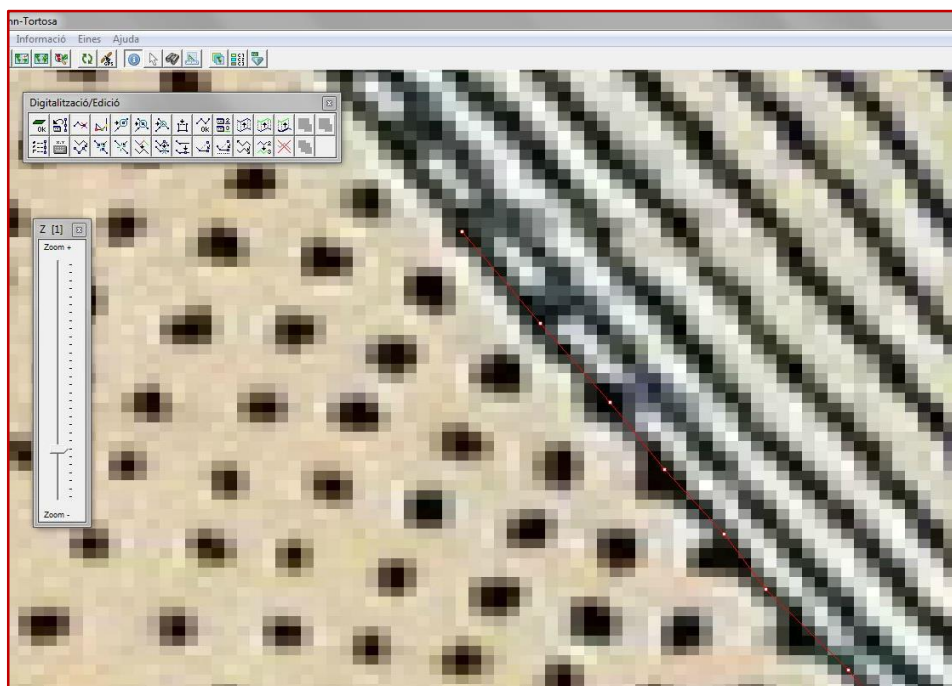


Figura 3.5 - Procés de digitalització

Finalment, quan s'ha digitalitzat tot el contorn d'una plana el resultat és el que s'observa en la Figura 3.6.

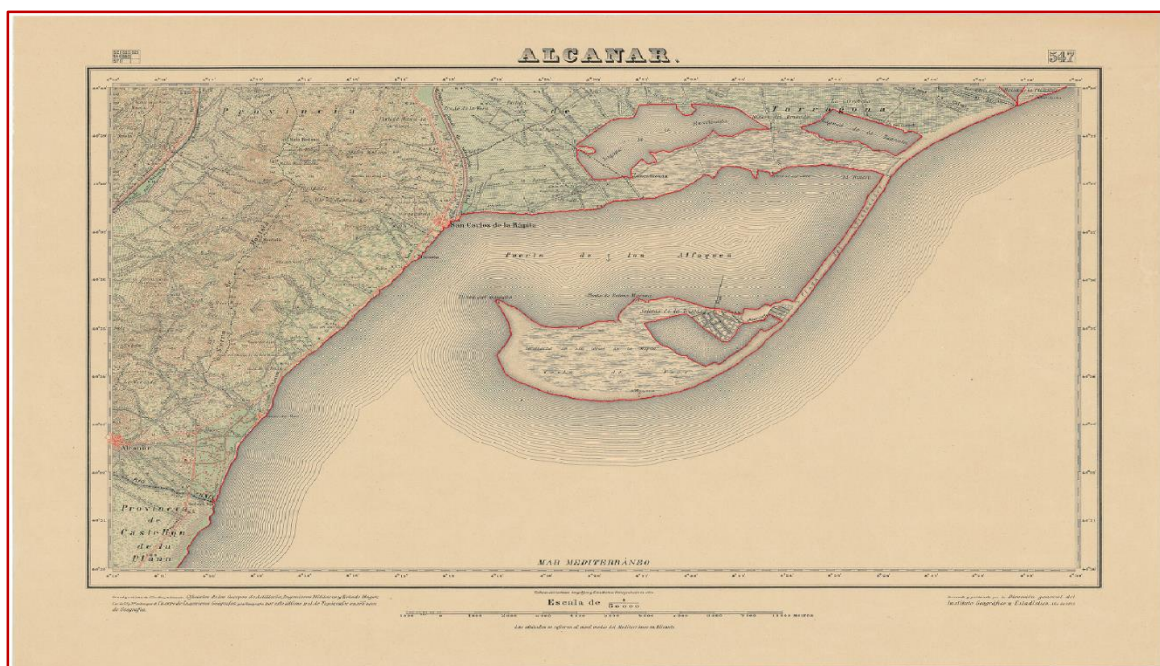


Figura 3.6 - Digitalització de la plana 547 - 1919 (MTN50)

Quan ja s'ha enllestit una plana del MTN50 es procedeix, sense tancar el vector digitalitzador, a carregar la següent plana del MTN50, d'aquesta manera es segueix digitalitzant sobre el

mateix vector i per tant acabem fent una combinació de les tres planes del MTN50 sobre un mateix vector.

Finalment, com que cada punt que hem assignat a cada vèrtex està marcat sobre les planes del mapa georeferenciat, acabem obtenint com a resultat final, un vector també georeferenciat amb el mateix sistema de referència (ED50) Figura 3.7.

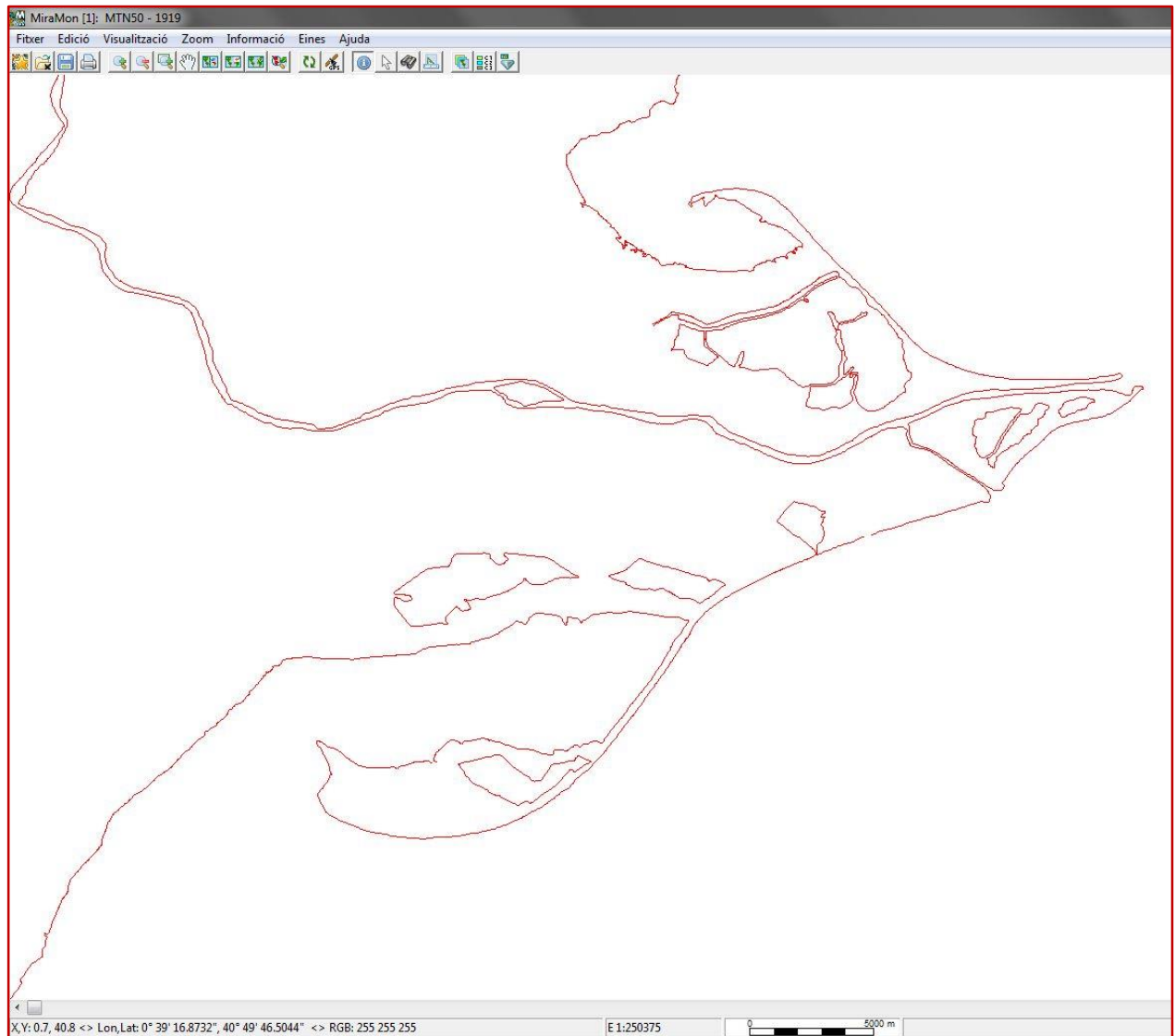


Figura 3.7 - Digitalització del MTN50 de l'any 1919

En l'annex E.I es troba el mapa resultant obtingut a partir de la digitalització manual del MTN50 de l'any 1919.

3.2.1.1 Dificultats

En aquest primer procés de dades s'ha trobat com a dificultat principal, la precisió a l'hora de digitalitzar els mapes malgrat emprar un procés molt metòdic. És arran d'aquesta dificultat que s'ha pensat que l'aprofundiment en l'apartat dels errors ha de formar part del PFC. D'aquesta manera sorgeix el darrer objectiu presentat com "*Anàlisi d'errors entre els vectors digitalitzats i les imatges de teledetecció*" donada l'arbitrarietat alhora d'assignar punts.

També ha estat una dificultat el fet que la concordança entre les diferents planes del MTN50 no era perfecte en tots els punts, d'aquesta manera, ha calgut estimar un vector mig per passar dels punts d'una plana als punts de la plana següent. Com es pot observar en la Figura 3.8, l'enllaç entre els punts vectoritzats de la dreta (vectoritzats sobre una mapa no visible en la imatge) i els punts de l'esquerra vectoritzats sobre el mapa, no és perfecte, presenta un petit decalatge d'aproximadament 2,3 metres. (Un error relatiu d'1% sobre l'amplada del riu en el mateix punt)



Figura 3.8 - Error en la concordança entre planes

3.2.2 MTN50 1938

El procés que s'ha fet servir per obtenir el mapa vectorial que conté la digitalització del mapa ràster ha estat el mateix que l'explicat en l'apartat 3.2

S'ha procedit igual, fent els mateixos processos, donada la similitud i la correspondència de fitxers. Amb la digitalització hem obtingut el següent resultat Figura 3.9.

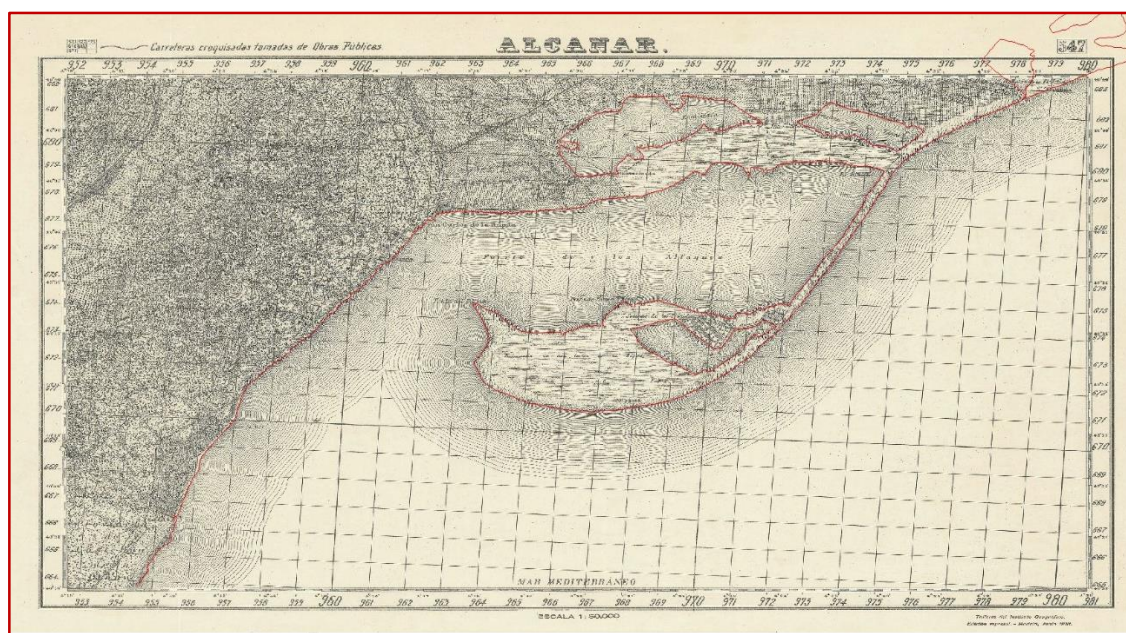


Figura 3.9 - Digitalització de la plana 547 - 1938 (MTN50)

Finalment, igual que en el mapa de l'any 1919, s'ha acabat obtenint un vector que conté la digitalització del límit terra/mar, els marges del riu i les principals salines i llacunes observades. (Figura 3.10)

En l'annex 1.1II es troba el mapa resultat obtingut a partir de la digitalització manual del MTN50 de l'any 1919.

3.2.2.1 Dificultats

A les dificultats esmentades en l'apartat 3.2.1.1 a més a més ens hem trobat que aquest mapa era més difícil de digitalitzar ja que la manca de color i la sobrecàrrega d'elements a sobre del mapa, feia més fàcil perdre l'entitat geogràfica dels elements que s'estaven digitalitzant. Havent de corregir la trajectòria dels vectors amb certa freqüència.

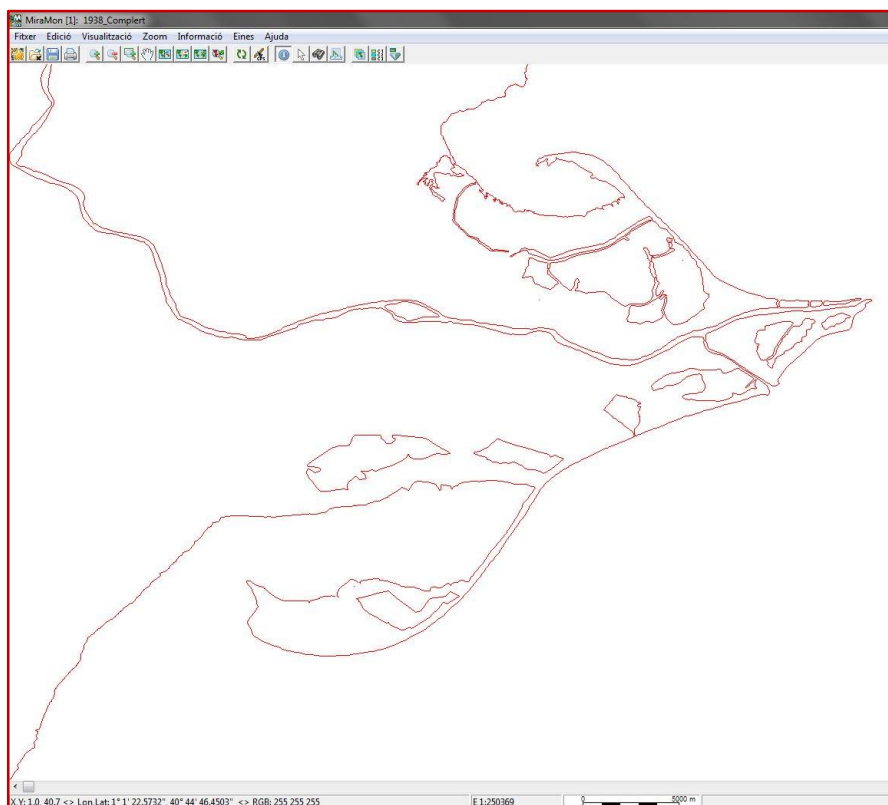


Figura 3.10- Digitalització del MTN50 de l'any 1938

Després de comprovar els resultats, s'ha observat, superposant els dos vectors generats (any 1919 i any 1938) que les planes 522 i 547 (les dues de l'any 1938) són idèntiques i que només trobem variació a la plana 523 cartografiada l'any 1942. (Figura 3.11) Aquest fet ens fa pensar que els mapes cartografiats l'any 1938 (planes 522 i 547) només són una reedició del mapa cartografiat l'any 1919, amb possiblement una part de toponímia canviada, una actualització de vies de servei i una visualització diferent amb la implantació de la graella quilomètrica, però en cap cas no constitueix una nova font de dades topogràfiques ja que la superposició de tots els vectors és gairebé exacte. Tanmateix, el fet que la plana 523 es cartografies l'any 1942 (4 anys després) també ens permet pensar que aquesta sí que va ser aixecada de nou topogràficament.

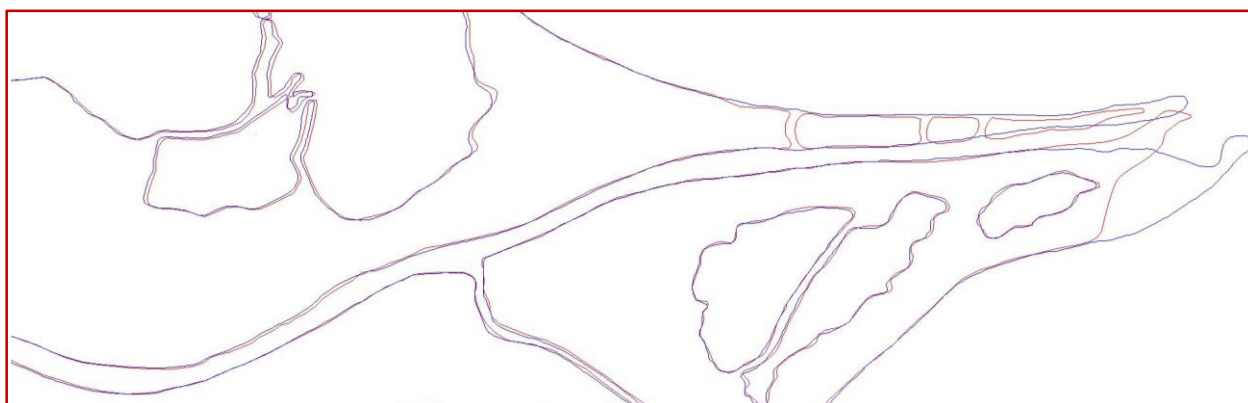


Figura 3.11 - Diferències entre els vectors de l'any 1919 i del 1938

3.3 Estudi d'errors en la vectorització manual

Aquest estudi forma part del projecte per voler donar coherència a les vectoritzacions manuals que s'han realitzat en els apartats 3.2 i 3.2.2. Com s'ha explicat en els respectius apartats, en la vectorització manual, és l'usuari qui decideix els punts que han de conformar els vectors. Per tal de comprovar la fidelitat dels vectors a les fonts d'informació, s'ha comparat una cartografia oficial en format vectorial de l'any 2008 amb una cartografia vectoritzada manualment a partir del MTN50 de l'any 2008. S'ha fet aquesta comparació perquè els dos mapes comparats (vectorial i ràster) són de la mateixa edició i són equivalents ja que el mapa en format ràster del MTN50 es genera a partir del mapa vectorial.

Per fer aquesta comparació s'ha vectoritzat manualment amb una tauleta digitalitzadora el MTN50 del 2008 en format ràster com es pot apreciar en la Figura 3.12



Figura 3.12 - Vectorització MTN50 any 2008

Un cop s'ha acabat la vectorització s'ha comparat amb el mapa vectorial 2008 descarregat des de l'IGN. Aquest mapa es pot veure en la Figura 3.13. En aquesta comparació però s'ha comprovat que els vectors no són idèntics. No estan sobreposats un sobre l'altre com era d'esperar sinó que queden disposats com es veu en la Figura 3.14.

Davant d'aquesta situació el següent pas que s'ha fet és la comparació entre les dues fonts d'informació oficials. S'ha comparat el mapa vectorial amb el mapa ràster tal i com s'indica en la Figura 3.15 de la pàgina 37.

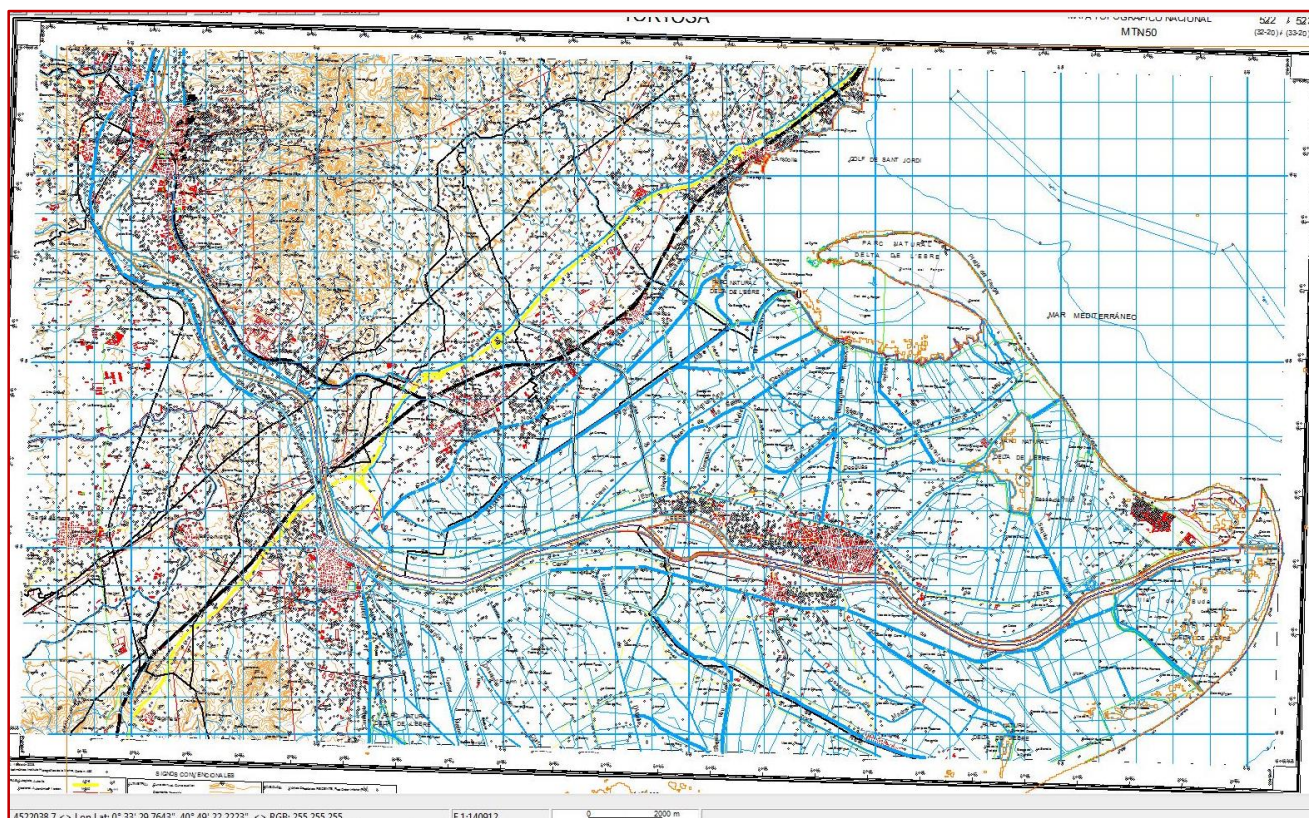


Figura 3.13 - Mapa vectorial de l'IGN - 2008

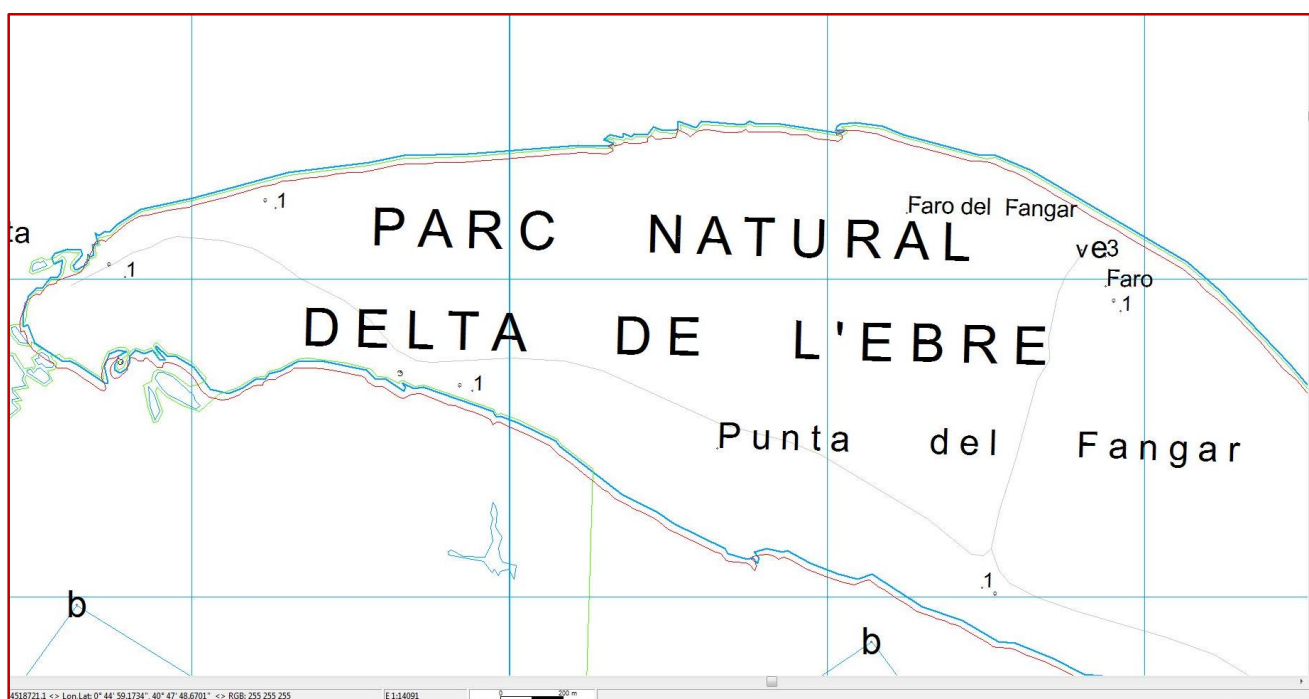


Figura 3.14 - Comparació del MTN50 vectorial (blau i verd) amb el MTN50 vectoritzat (vermell)



Figura 3.15 - Comparació entre el MTN50 ràster, MTN50 vectoritzat (vermell) i MTN50 vectorial (negre)

Com observem la Figura 3.15 veiem que el MTN50 vectorial no ressegueix de manera fidel la línia de costa del MTN50 en format ràster. Aquest problema és el que fa que en la nostra comparació entre MTN50 vectorial i MTN50 vectoritzat no sigui perfecte.

La diferència entre les dues cartografies oficials no es pot associar a un error de georeferenciació sinó a un problema d'ús de les fonts. Donat que el ràster és un fitxer generat gràficament amb una escala 1:50.000 tant la impressió com el posterior escaneig no està preparat per assumir un detall tant petit donat que l'error que es fa és d'uns 20 metres reals que sobre la cartografia ràster impliquen una desviació de 0,4 mil·límetres que evidentment són gairebé inapreciables.

No obstant aquesta comprovació que s'ha fet ens permet assegurar que el millor mètode per minimitzar els errors és fer servir sempre els MTN50 digitalitzats aplicant sempre el mateix criteri alhora de digitalitzar i ens recorda que l'àmbit del treball és de caire generalista i és una primera aproximació ja que per estudiar casos molt més concrets i de detall hauríem d'haver emprat unes fonts d'informació diferents però que són inexistents.

3.4 Fotografia Aèria 1956/57

Un cop s'ha obtingut el mosaic d'ortofotografies, com s'ha explicat en l'apartat 2.3 el procediment per digitalitzar la línia de costa ha estat el mateix que l'emprat en la digitalització del MTN50 1919, a l'apartat 3.2

Malgrat ser fitxers amb un origen molt diferenciat a l'hora d'aplicar els processos s'ha treballat amb una gran similitud, donat que s'han efectuat els mateixos procediments per a obtenir el vector. La digitalització s'ha anat efectuant sobre el límit de costa de la ortofotografia com es pot observar en la Figura 3.16.



Figura 3.16 - Digitalització de la Ortofotografia - 1957

Finalment, igual que en els fitxers anteriors, s'ha acabat obtenint un vector que conté la digitalització del límit de costa, els marges del riu i les principals salines i llacunes observades. (Figura 3.17)

En l'annex 1.1III es troba el mapa resultat obtingut a partir de la digitalització manual de l'Ortofotografia del Vol Americà de l'any 1956/1957.

3.4.1 Dificultats Fotografia Area

A l'hora de digitalitzar aquest fitxer s'ha hagut de fer front a dues dificultats. La primera donada pel tipus de fitxer. Al ser un mosaic de diferents fotogrames cadascun d'ells per separat té la seva qualitat i les seves tonalitats. Aquestes tonalitats varien entre fotogrames ja que les

imatges no són preses al mateix instant sinó que entre una captura i la seva adjacent superior, passa un determinat temps. Aquest és el temps que necessita l'avió per realitzar tota una

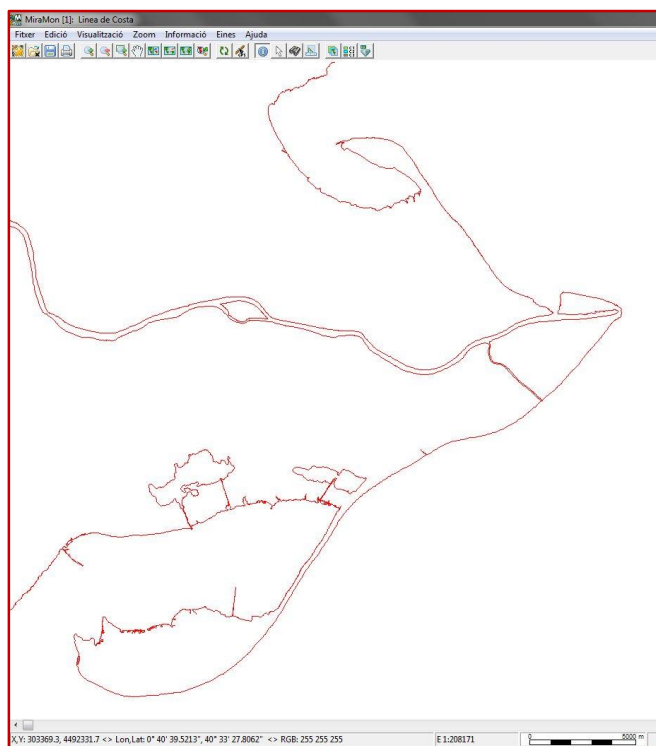


Figura 3.17 - Digitalització de l'Ortofoto

batuda o un escombrat. Això és així perquè l'avió que fotografia va fent passades horitzontals dins d'una àrea preestablerta com s'indica en la Figura 3.18. Així doncs, trobem que els fotogrames en sentit horitzontal tenen concordança cromàtica però no en sentit vertical. A més a més de les variacions cromàtiques també trobem que cada fotograma té el seu reflex del sol gravat.

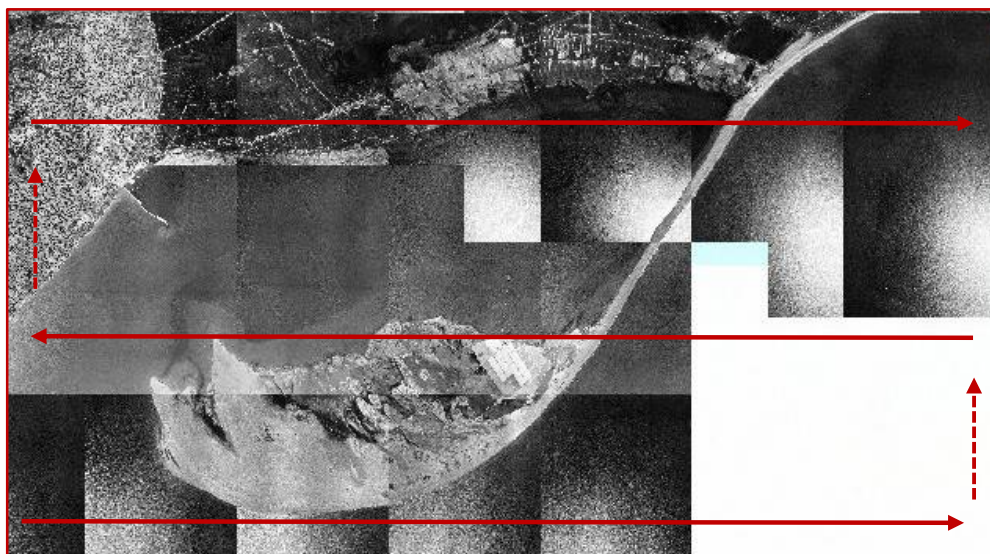


Figura 3.18 - Direcció del vol. Explicació de les diferents tonalitats (Sentit inventat)

Totes aquestes incidències, malgrat no ser un problema greu, esdevenen una dificultat inherent al format del fitxer ja que en molts casos ha costat seguir amb precisió la línia de costa que es vol digitalitzar.

El segon problema que ens hem trobat ha estat, igual que en la digitalització dels MTN50, la georeferenciació que ofereix l'ICC. En aquest cas, suposem que l'ICC dóna una georeferenciació molt primària i efectuada amb grans blocs i això fa que la unió de fotogrames no sigui concordant i existeixi una lleugera desviació com es mostra en la Figura 3.19. Davant d'aquesta situació sempre s'ha optat per digitalitzar un tram transitori pel punt mig entre els dos fotogrames.

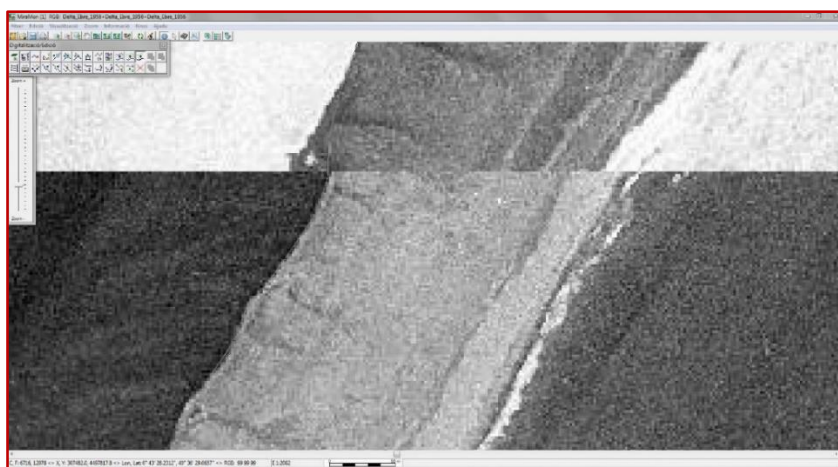


Figura 3.19 - Error en la georeferenciació dels fotogrames i diferència de tonalitats

Tot i així, aquest no és un error constant (que ens faria pensar en un error sistemàtic en la georeferenciació) sinó que només el trobem en determinats fotogrames. Com es pot observar en la Figura 3.20 molts fotogrames malgrat tenir una diferència cromàtica important estan correctament georeferenciats.



Figura 3.20 - Dos fotogrames correctament georeferenciats però amb diferent tonalitat

3.5 Imatges Satèl·lit

3.5.1 LandSat 1 ERTS

Per obtenir el límit de costa d'aquests fitxers s'han emprat dos processos diferents.

El primer procés ha consistit en aplicar a la imatge un índex normalitzat. Un índex normalitzat és una operació matemàtica que s'aplica a la imatge. Aquesta operació matemàtica es fa entre els valors dels píxels de les diferents capes de manera que per a un píxel concret es poden operar els seus valors diferents de les respectives capes. Segons les capes que s'utilitzen i els operadors que s'apliquen s'obtenen resultats diferents.

Com que tenim com a objectiu diferenciar el límit entre la terra i el mar hem emprat l'índex que històricament s'ha emprat per aquests casos, el *Normalised Difference Water Index* (NDWI). Aquest índex en la majoria de documents el trobem definit com:

$$NDWI = \frac{IRp - Vermell}{IRp + Vermell}$$

Tot i que també s'ha trobat com a vàlid els diferents índexs:

$$NDWI = \frac{Verd - IRp}{Verd + IRp} \quad \text{i} \quad NDWI = \frac{IRm - IRp}{IRm + IRp}$$

Aquests índexs tenen la característica que donen com a resultat un valor per a cada píxel (generen una nova cartografia) acotat entre [-1,1]. Els valors positius ens indiquen l'aigua i els valors negatius ens indiquen la terra.

Un cop apliquem aquest índex obtenim una cartografia com la que s'observa en la Figura 3.21 (El color verd indica valors positius) que és fàcilment discriminable mitjançant un cercador per atributs. És a dir, encomanem al programari que seleccioni tots aquells píxels que responguin a un atribut concret. En el nostre cas volem que ens seleccioni aquells píxels que tenen valor positiu (>0).

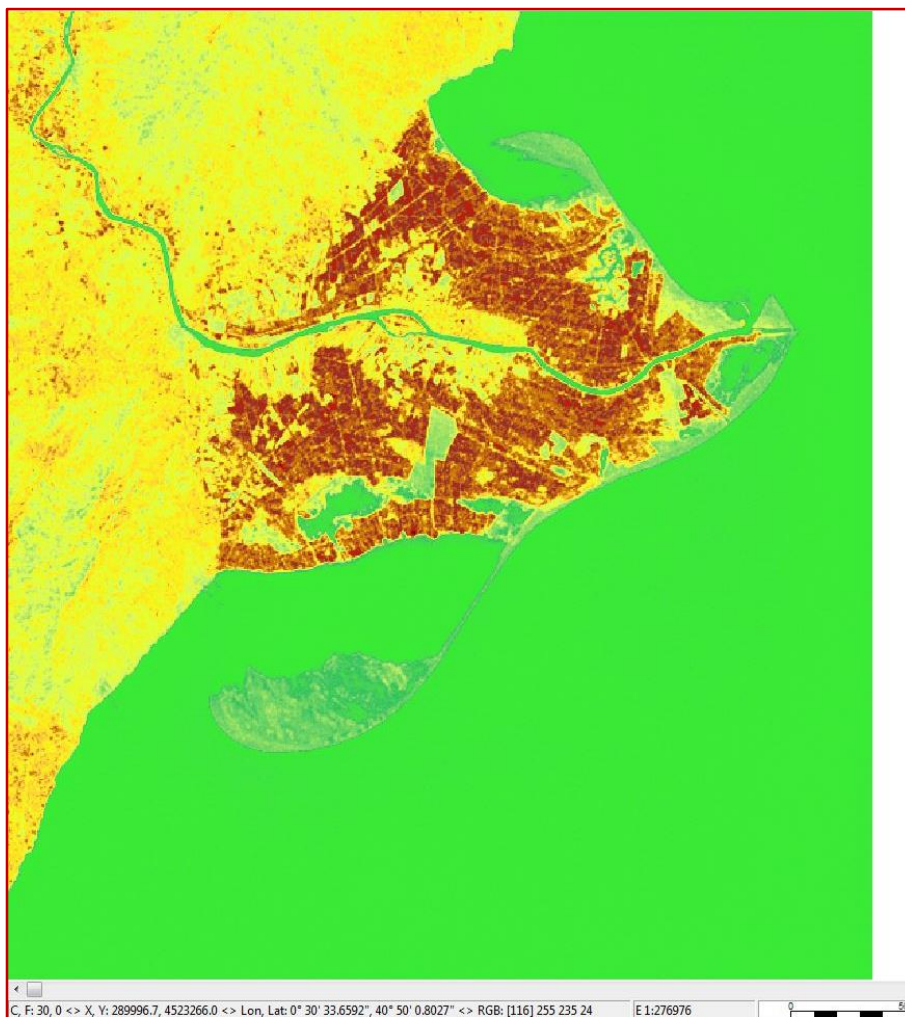


Figura 3.21 - NDWI any 1972

Com s'observa en la Figura 3.22 i la Figura 3.23 la selecció directa per atributs imposant la selecció dels píxels més grans que zero no és perfecta. Malgrat existeix una molt bona aproximació en general ens trobem que en zones on hi ha molt poc terreny o bé hi ha un terreny amb un alt contingut d'aigua (salines, aiguamolls) el NDWI no discrimina del tot bé els límits.

Per tant aquest sistema requereix un ajust per aproximació final com veiem en la Figura 3.23 per seleccionar bé els píxels que ens interessen.

Un cop tenim la selecció per atributs correctament seleccionada el programari ens dona la possibilitat de guardar la selecció generant una nova cartografia binària. Aquesta cartografia binària consisteix en generar un nou mapa amb dos únics valors de píxel 1 o 0. El valor 1 l'assigna a aquells píxels que formaven part de la selecció i el valor 0 l'assigna als píxels que no havien estat seleccionat. Aquest resultat es pot observar en la Figura 3.24.

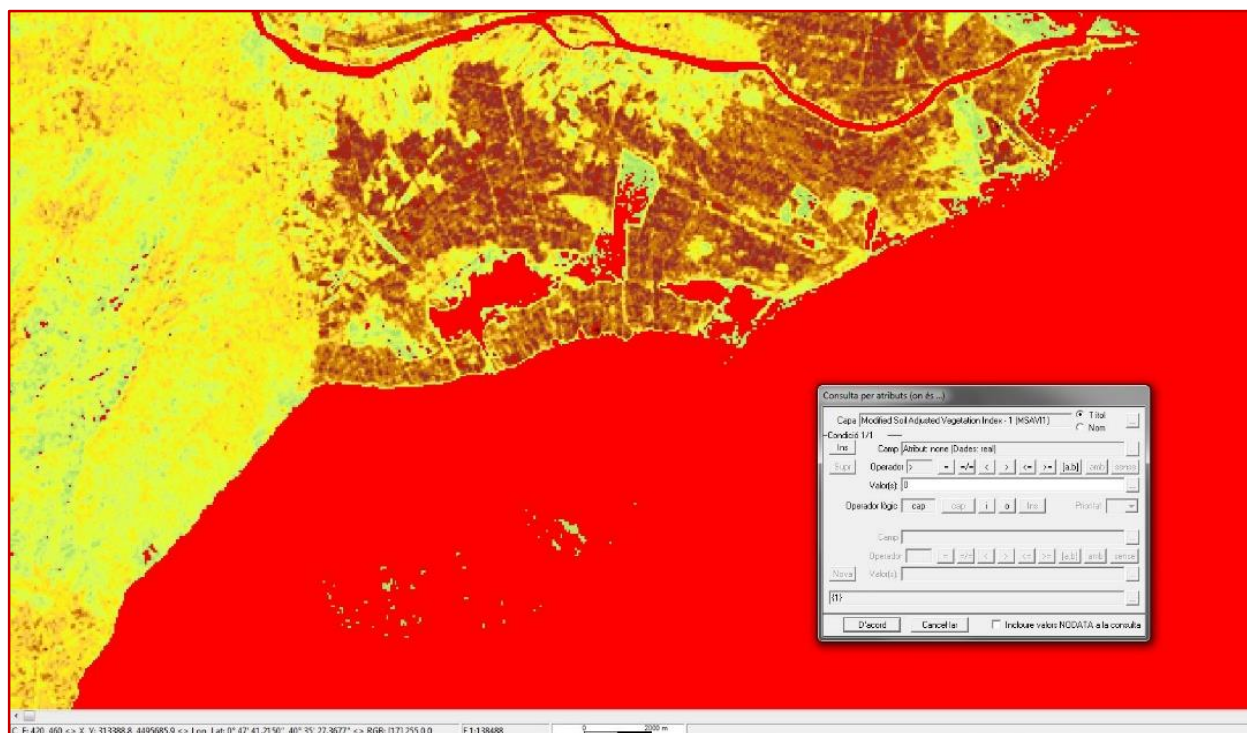


Figura 3.22 - Selecció per atributs. Vermell píxels amb valor > 0 (positius)

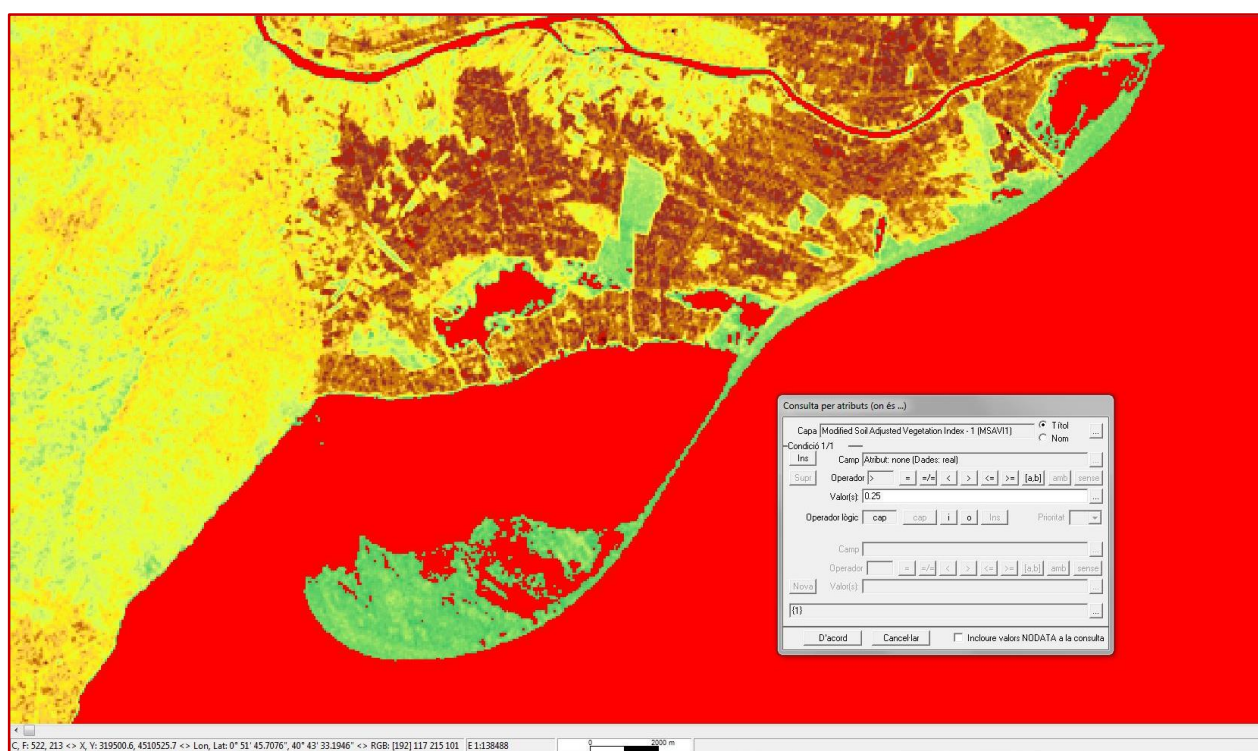


Figura 3.23 - Selecció per atributs. Vermell píxels amb valor > 0.25 (positius + ajust)

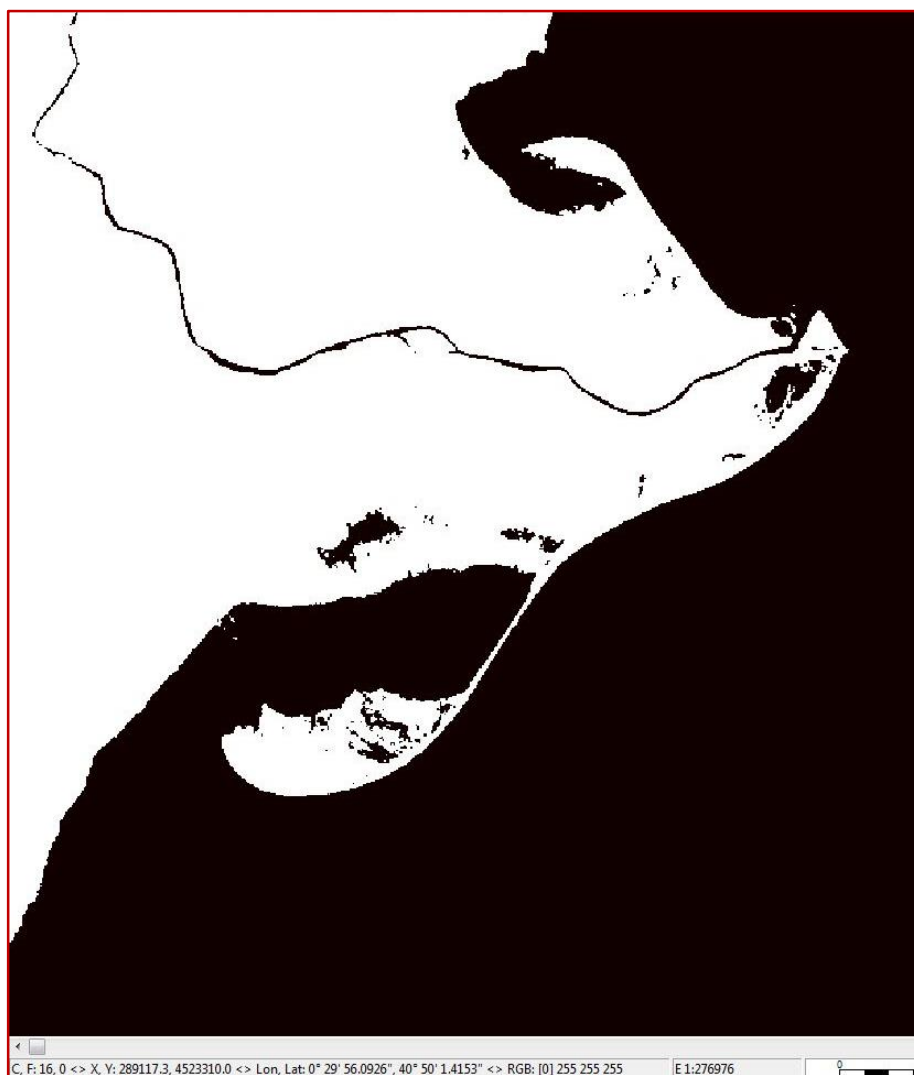


Figura 3.24 - Cartografia binària. Blanc valor 0. Negre valor 1

Un cop tenim la cartografia binària de la Figura 3.24 amb el mateix programari podem fer una vectorització dels diferents polígons que els píxels de mateix valor generen. D'aquesta manera el programari generarà un vector que seguirà el contorn de cada conjunt de píxels que tenen el mateix valor.

Cal destacar doncs, que el vector seguirà els límits dels píxels i que per tant a diferència de la vectorització manual ens trobarem amb vectors angulosos i menys harmonitzats. (Figura 3.26 - Vectorització LandSat 1972

El segon procés que es pot utilitzar i pel que s'ha decidit finalment ha consistit en emprar directament la capa de l'infraroig proper (IRp). Aquesta decisió s'ha pres després d'avaluar que tots els índex NDWI fan servir aquest rang de l'espectre electromagnètic i de saber que IRp es defineix precisament com el rang energètic que és absorbit per l'aigua. Com que és el rang energètic absorbit per l'aigua aquest no es reflecteix quan s'està capturant una superfície que té presència d'aigua i per tant el valor en aquesta banda dels píxels és molt baix. D'aquesta

manera l'IRp esdevé per ell mateix un molt bon indicador del contingut d'aigua en superfície de cada píxel.

Per tant en aquesta segona metodologia el que s'ha fet ha estat avaluar directament sobre la banda de l'IRp el valor dels píxels. Sabent que les nostres imatges tenen una profunditat de 8 bits i poden emmagatzemar 256 valors (0 no hi ha resposta, 255 resposta màxima) hem aplicat el selector per atributs i hem fet que el programari seleccioni tots els valors inferiors a 35 (un 13% dels possibles valors). Com veiem en la Figura 3.25 s'ha deixat aquest valor per incloure també en la selecció les zones més costaneres on el calat de l'aigua no és suficient per absorbir tota l'energia i per tant dona una resposta mínima a la banda IRp.

Un cop tenim la selecció feta sobre la banda IRp procedim igual que s'ha explicat en el primer mètode, produint una cartografia binària i aplicant una vectorització automàtica. (Figura 3.26)

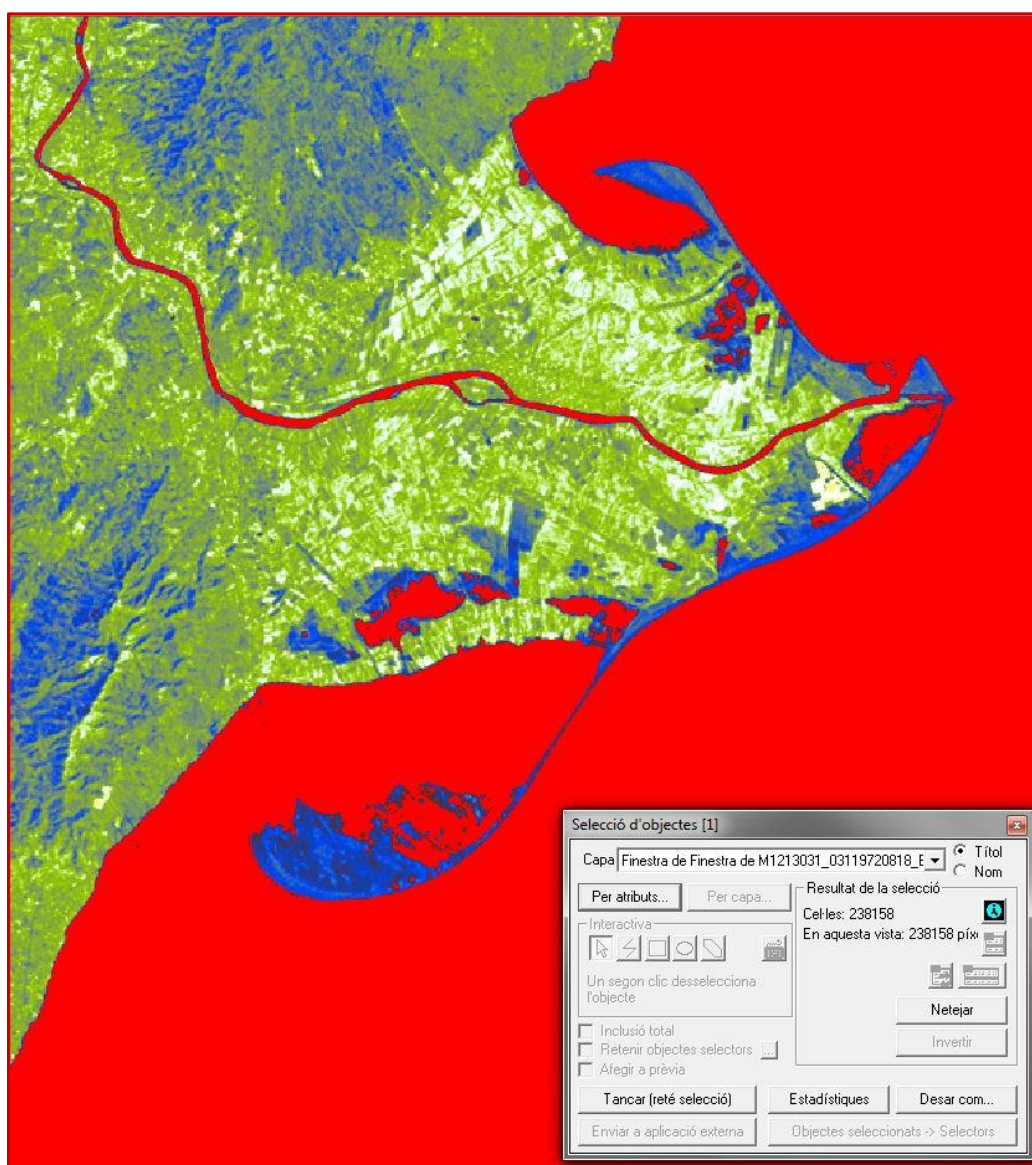


Figura 3.25 - Selecció per atributs (<35) en la Banda IRp



Figura 3.26 - Vectorització LandSat 1972

En l'annex 1.1IV es troba el mapa resultant obtingut a partir de la vectorització automàtica a partir de la imatge de Teledetecció del Satelit LandSat capturada l'any 1972.

3.5.1.1 Dificultats

Alhora de treballar amb aquestes imatges ens hem trobat amb la difícil decisió de triar el mètode ja que l'objectiu d'emprar unes imatges de teledetecció i aplicar mètodes analítics automàtics era precisament eliminar l'error humà que segurament s'aplicava en el treball de les fonts d'informació anteriors. Malgrat aquesta concepció inicial en el moment en que hem hagut d'aplicar la selecció per atributs sobre la cartografia resultat d'aplicar l'índex NDWI i hem vist que el resultat no era correcte sinó que havíem d'aplicar un factor de correcció hem vist que tornàvem a caure en la discriminació subjectiva. A més a més quan intentàvem comparar els factors de correcció que havíem d'aplicar en diferents imatges trobàvem que cada fitxer necessita el seu valor concret. És a dir que l'aproximació s'havia de fer de manera

unívoca i discreta per a cada imatge. Arribats a aquest punt i amb la voluntat de trobar una manera única i automàtica de discriminar el límit de costa s'ha optat per la segona opció explicada en el punt 3.5.1. Aquesta metodologia ens permet aplicar el mateix llindar de valor de píxel (35) i per tant ens permet fer la selecció d'atributs de manera generalitzada en les diferents imatges de teledetecció que es fan servir al llarg del PFC.

Malgrat ser una metodologia més simple resulta ser més efectiva per aquest propòsit i ens permet eliminar l'error subjectiu que produïem amb l'anterior mètode.

Tot i triar la segona opció també ha estat voluntat d'aquest PFC avaluar les diferències (els errors) que es produïen a l'hora de treballar la imatge amb l'índex NDWI més el factor de correcció (triat subjectivament per a cada imatge) i la imatge treballada mitjançant el valor de píxel de la banda de l'IRp (35).

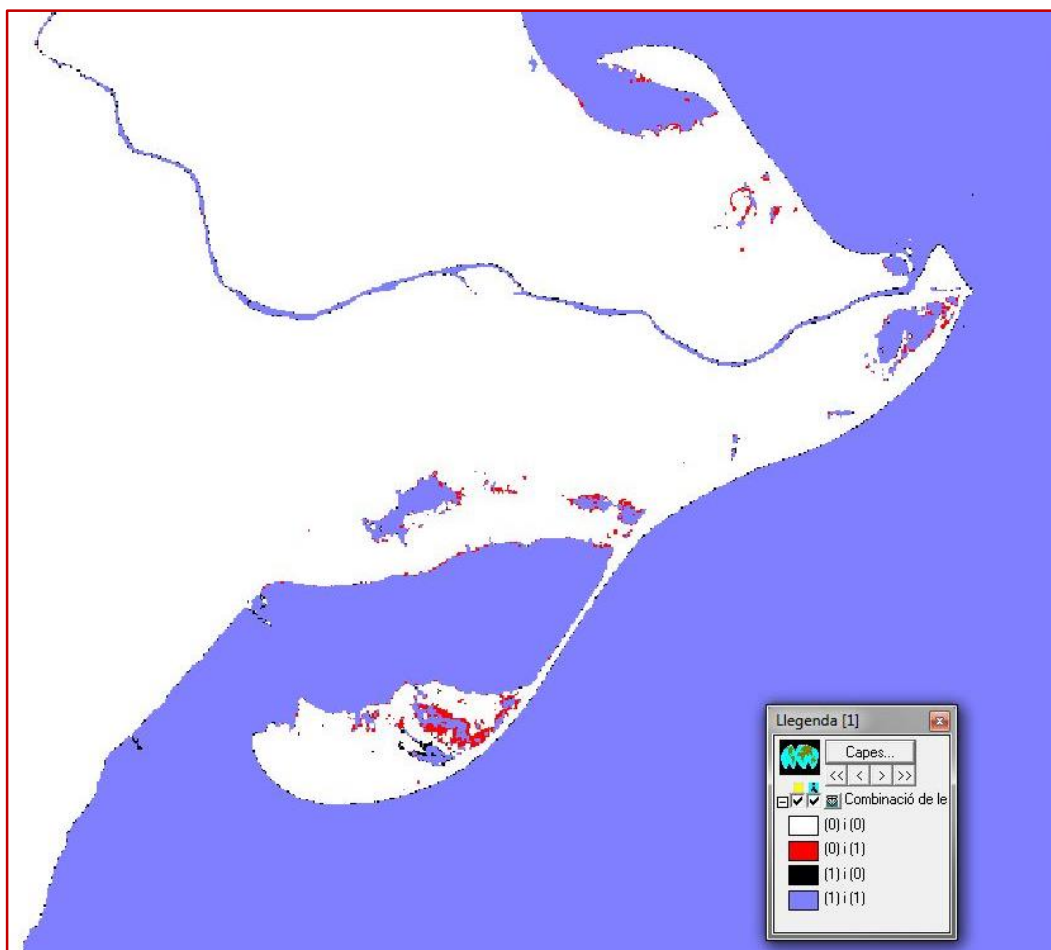


Figura 3.27 - Combinació de cartografies (NDWI - IRp)

Per fer aquesta comparació s'ha fet una combinació analítica de capes. S'ha combinat les dues cartografies binàries que s'han obtingut. El resultat d'una combinació analítica és una nova cartografia amb els valors [0,0] – [1,0] – [0,1] – [1,1]. Cada píxel emmagatzema el valor de

les dues cartografies que s'han combinat. Per tant les diferències que hi havia entre les dues cartografies les trobarem en els valors $[1,0]$ i $[0,1]$ com s'observa en la Figura 3.27.

A part del procés per obtenir la imatge vectoritzada també ens hem trobat amb la dificultat que representa treballar amb una resolució de 80 metres ja que depenent de la categoria que haguem donat a cada píxel (aigua o terra) estem cometent un error important. El fet de no poder "partir" els píxels a l'hora de vectoritzar vol dir que estem obligats a triar l'itinerari del nostre vector en blocs de 80 metres. Generant un error, segons la nostra percepció, més elevat que el de la digitalització manual.

A més, com es mostra en la Figura 3.28 a diferència de les anteriors vectoritzacions en aquest cas ens trobem amb un vector resultant força angulós i que donada la caracterització dels píxels produeix formes bastant poc naturals.

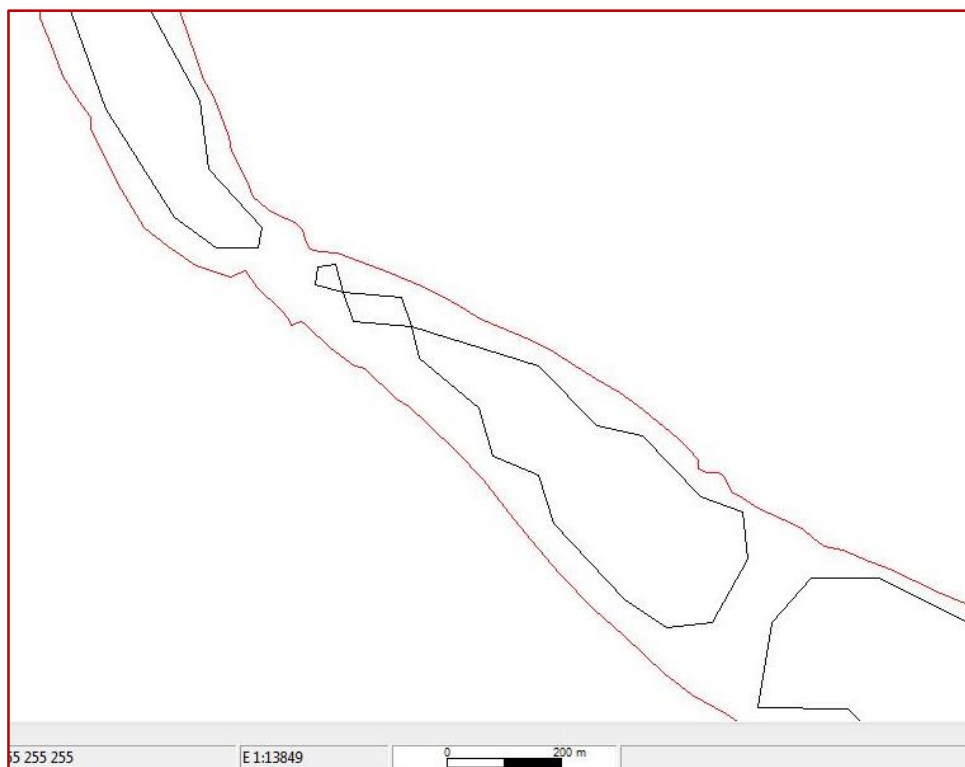


Figura 3.28 - Error en la vectorització automàtica (Tram del riu Ebre). En vermell vectorització manual (Any 1957) i en negre vectorització manual (Any 1972)

En la Figura 3.28 es pot observar com en la vectorització automàtica (dibuixada en color negre) trobem trams que haurien de ser continus i són vectoritzats a trams i a més la traça del vector forma encreuaments forçats per la determinació dels píxels. En aquest cas es pot comparar molt bé ja que els vectors vermells són fruit d'una vectorització manual.

3.5.2 LandSat 5 TM

El procés emprat per obtenir el límit de costa d'aquestes imatges de teledetecció és el mateix que s'ha explicat en l'apartat 3.5.1. L'única diferència a esmentar és que en tenir un augment de la resolució hem pogut obtenir millors resultats. Per aquest motiu s'ha estudiat la possibilitat d'aplicar filtres a les imatges per suavitzar els contorns (sense generalitzar els vectors).

Aplicar un filtre vol dir que passem un aplicatiu per sobre la imatge ràster que avalua píxel a píxel (unitat mínima) i segons unes operacions matemàtiques definides assigna un nou valor al píxel avaluat. Aquest valor pot es pot relacionar amb la mitja, la moda, la desviació estàndard, etc dels píxels del l'entorn. Tanmateix, també és pot seleccionar el nombre de píxels de l'entorn que volem que afectin al càlcul del nou valor.

D'aquest estudi s'ha tret la conclusió de que és millor no aplicar cap filtre ja que aquest tipus de filtres són útils per homogeneïtzar imatges generalistes però quan volem discretitzar dos espais ben determinats (terra i mar) l'aplicació d'aquests filtres ens distorsionen la imatge i ens generen petits errors.

Malgrat aquesta primera aproximació, però, es creu que les diferents opcions disponibles alhora d'aplicar un filtre i la quantitat de possibilitats d'ajustar-lo permetrien trobar, després del pertinent estudi, un filtre adequat pel nostre estudi.

Finalment, com s'ha comentat en l'apartat 3.5.1. la cartografia binària s'ha elaborat a partir de la selecció per atributs de la capa de l'Infraroig Proper.

3.5.2.1 Dificultats

Amb aquests tipus de fitxers no s'ha trobat gaire dificultat ja que el procés és automatitzat i els errors es redueixen bastant. Cal esmentar que les imatges s'han seleccionat de la mateixa època per trobar una situació del sòl (conreus i usos del sòl) molt similar que ens eviti cometre errors i per trobar un règim hidràulic el més constant possible. S'ha fet això per evitar les fluctuacions que pugui tenir el Delta al llarg de l'any donat al cabal que varia segons les estacions de l'any.

Com s'ha comentat anteriorment l'únic paràmetre no automatitzat ha estat el valor de tall alhora de fer la selecció per atributs per generar la cartografia binària. Malgrat ser una decisió

subjectiva en totes les imatges no s'ha sobrepassat en cap cas el valor de píxel 35 de l'infraroig proper.

Finalment, comentar que amb aquestes imatges, i després de realitzar tot el procés es pot observar molt bé la diferència de resolució entre les imatges del LandSat 1 versus el LandSat 5. Aquestes diferències es poden apreciar en la Figura 3.29.

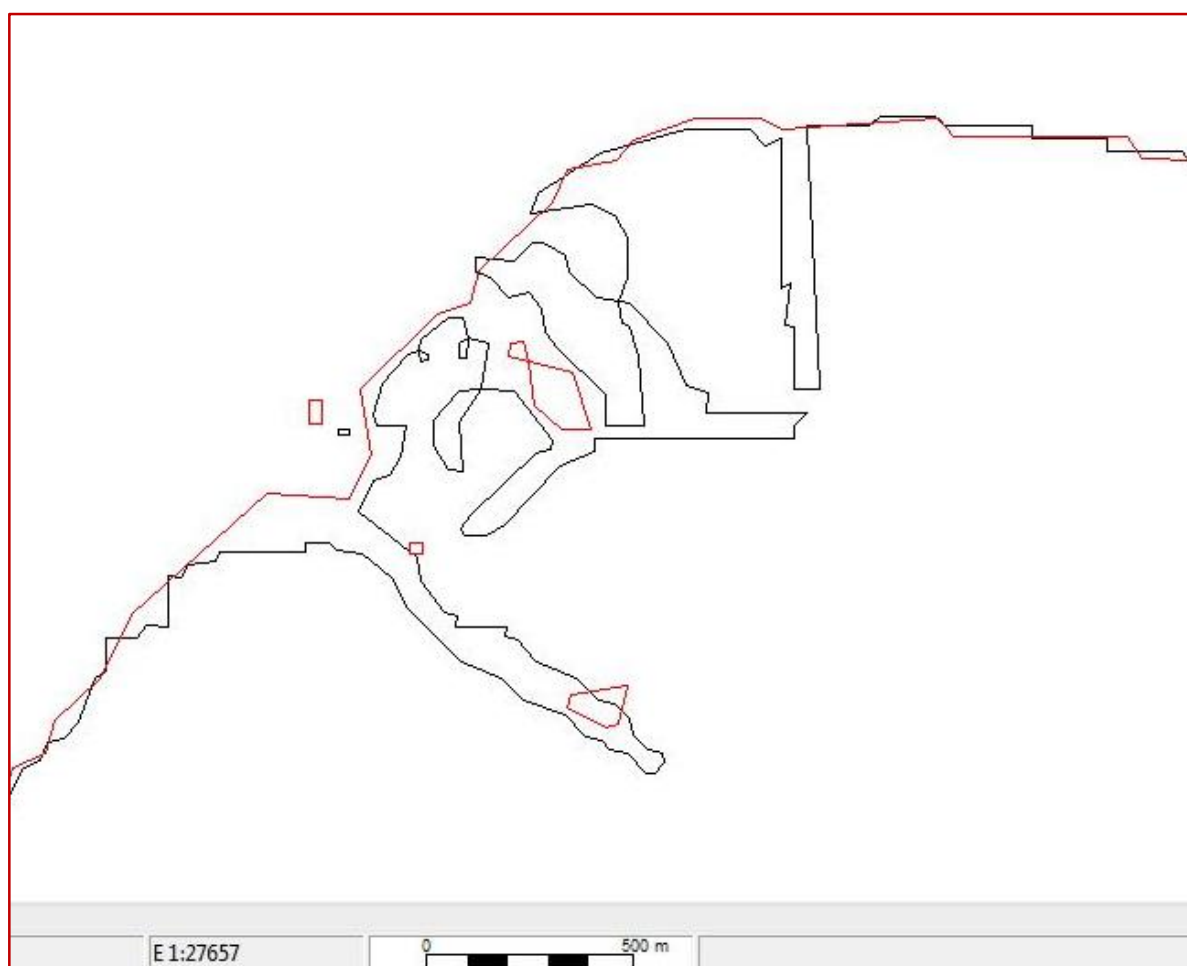


Figura 3.29 - Comparació LandSat1 ERTS amb LandSat 5 TM

Com s'observa en el detall de la Figura 3.29 en vermell observem la vectorització de la imatge del sensor LandSat 1 que està composta per línies més rectes amb grans costats de píxel que permeten adaptar-se poc a la realitat. Com exemple veiem que el port està molt poc definit pels píxels captats per aquest sensor. Per contra observem que la imatge del LandSat 5 s'ajusta molt millor i ens defineix, sense ser encara prou realista, els límits del port. Aquesta situació ve donada perquè els píxels s'adapten millor a la realitat.

En l'annex 1.1V es troba el mapa resultant obtingut a partir de la vectorització automàtica de les imatges de teledetecció del Satèl·lit LandSat 5 TM

3.5.3 LandSat 8 OLI-TIRS

El procés que s'ha emprat per treballar amb aquestes imatges és exactament el mateix que s'ha esmentat en l'apartat 3.5.1 i també són correctes les apreciacions que s'han fet en l'apartat 3.5.2. Com ha resultat s'obté la Figura 3.30 i la cartografia de l'annex 1.1VI.

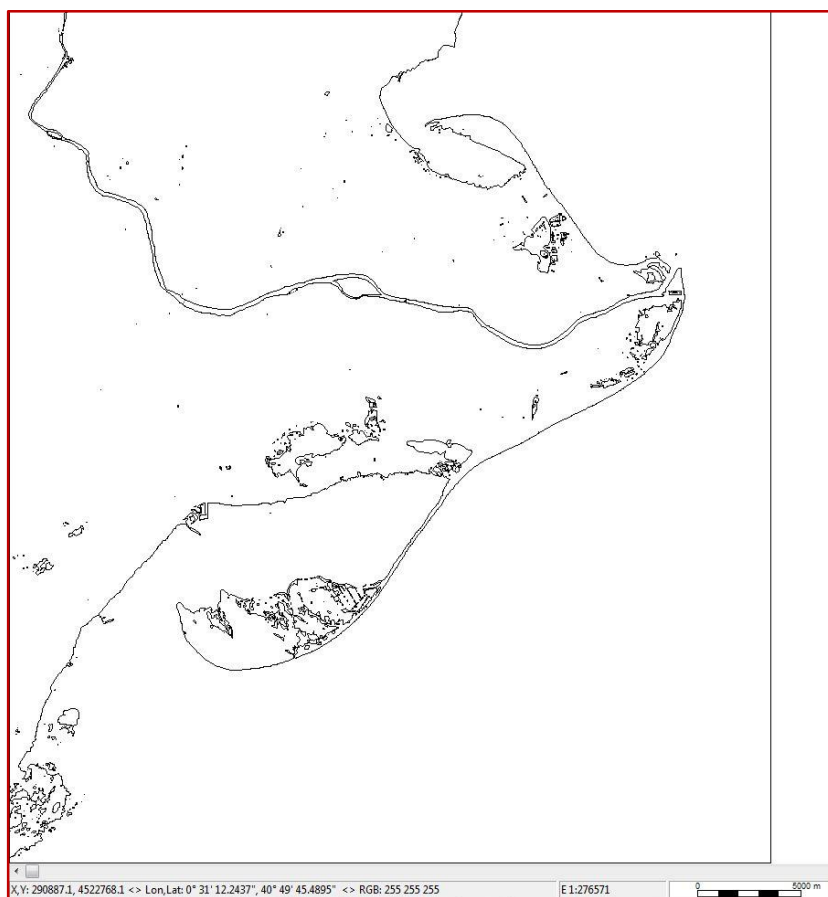


Figura 3.30 - Vectorització Imatge 2013

3.5.3.1 Dificultats

Alhora de treballar amb les imatges 2013 i 2014 no hem trobat cap dificultat significativa. Només destacar que en la imatge 2014 que està capturada al gener (diferent a totes les altres) ens hem trobat que alhora de fer la selecció per atributs i vectoritzar s'han generat molts polígons en els camps de conreus com es veu en la Figura 3.31. Una suposició que pot justificar aquest fet és que els cultius d'arròs a l'hivern estan anegats amb l'aigua del riu. Per això en el procés de selecció i posterior vectorització queden discriminats com a aigua.

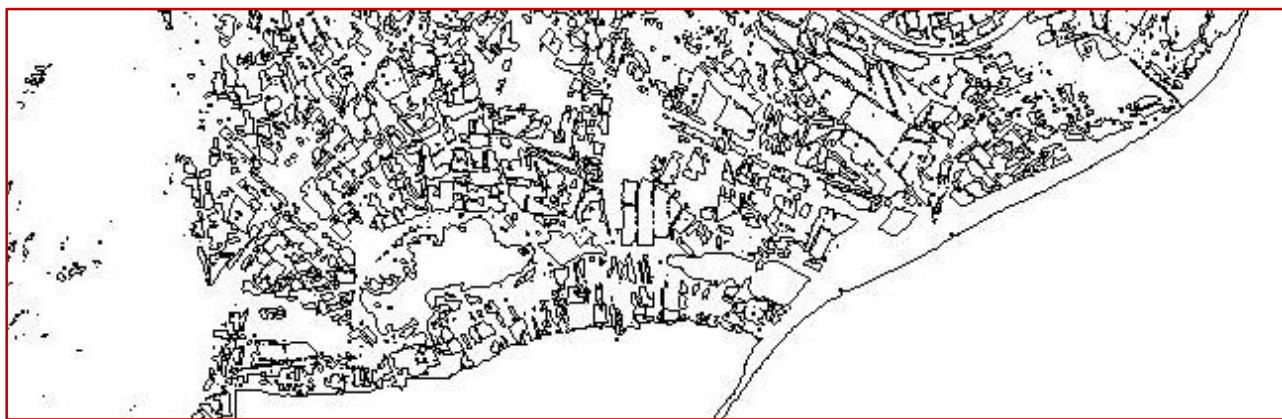


Figura 3.31 - Cultius vectoritzats (Gener 2014)

3.5.4 SPOT 5

El treball amb aquestes imatges ha estat difícil perquè el programari emprat per fer tot el treball (MiraMon) no era capaç d'obrir els fitxers de les imatges SPOT. Per aquest motiu s'ha necessitat buscar un software capaç d'obrir-les. Per això de manera excepcional s'ha fet servir el programari de llicència ArcMap.

Amb aquest programari s'han obert les imatges visualitzant-se com en la Figura 3.32 i s'ha buscat la manera de poder-les passar a un format que pogués obrir el MiraMon. Després de fer diferents proves es va observar que l'únic format de transferència que podia haver-hi entre els dos programaris era la imatge en fitxer .jpg. Aquest fet implica una certa complicació ja que en el moment de fer la transformació a .jpg es perdia la georeferenciació i les quatre bandes intrínseques en cada imatge.

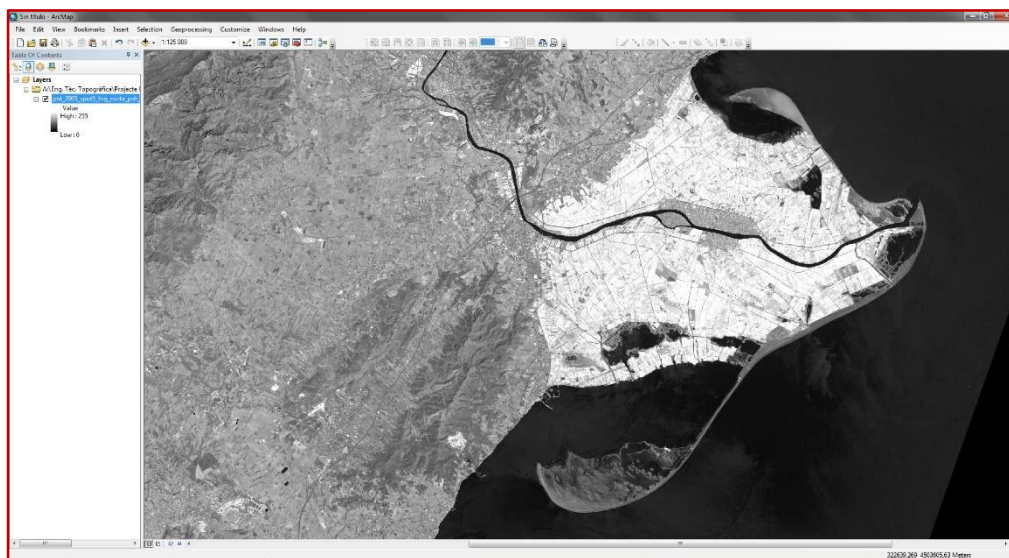


Figura 3.32 - Imatge SPOT5 oberta amb ArcMap

Per tal de minimitzar el màxim possible les conseqüències de perdre la georeferenciació s'ha optat per l'estratègia de retallar la imatge amb l'ArcMap amb unes coordenades conegudes. D'aquesta manera al traspasar la imatge al MiraMon i convertir-la en imatge ràster només hauríem de fer una georeferenciació assignant a les quatre cantonades de la imatge les coordenades conegudes capturades amb l'ArcMap.

Com que el retall s'ha fet mitjançant coordenades introduïdes i l'assignació d'atributs alhora de georeferenciar també s'ha fet introduint els punts coneguts que es podien extreure a partir del nombre de columnes i files de la imatge la georeferenciació a comportat molts pocs errors.

Al fer el traspàs de programari també s'ha hagut de renunciar a les diferents bandes però com que ja en els apartats anteriors havíem renunciat a calcular l'índex d'aigua operant si bé que treballàvem directament amb la banda de l'Infraroig Proper només hem hagut de modificar aquest fitxer concret.

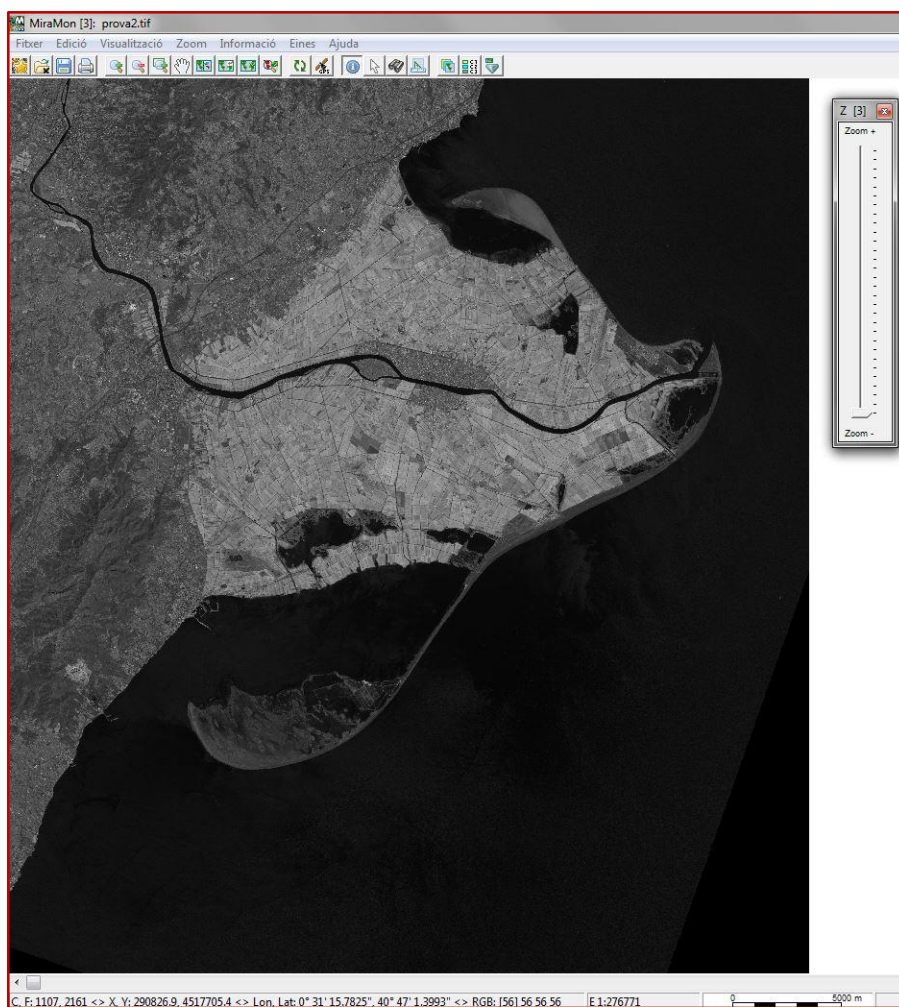


Figura 3.33 - Imatge SPOT5 oberta amb MiraMon

Un cop s'ha arribat a obtenir un fitxer retallat i georeferenciat amb el que el programari MiraMon pot treballar, com es veu en la Figura 3.33, s'ha procedit com en els apartats 3.5.1 i 3.5.2. Ja que malgrat ser imatges diferents, un cop normalitzades es pot aplicar el mateix mètode de treball.

Un cop fet el procés, com s'observa en la Figura 3.34, es va obtenir el límit de costa i tot un seguit de polígons petits que posteriorment es van eliminar amb un filtre. Obtenint el vector que s'observa en l'annex 1.1VII.

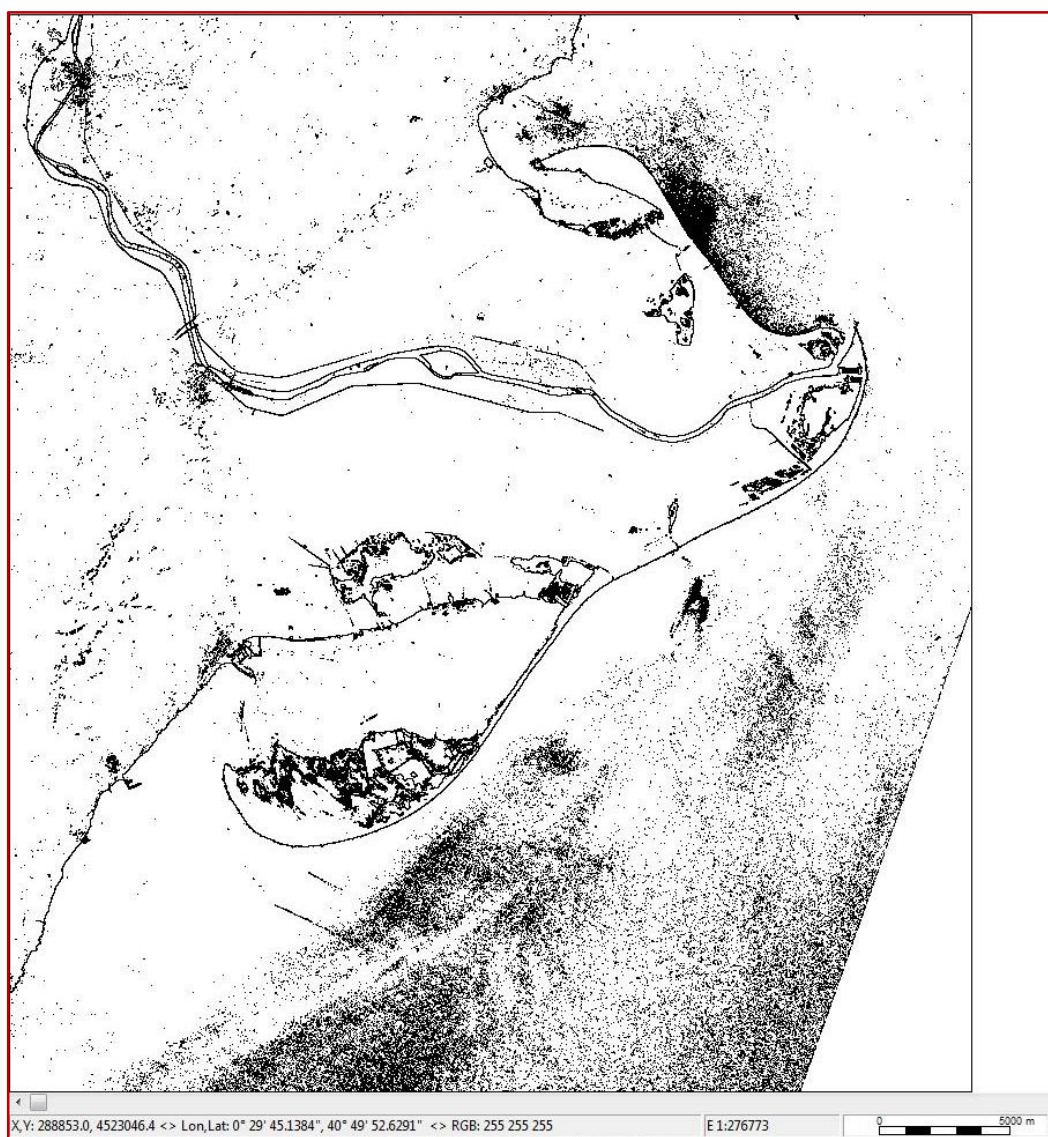


Figura 3.34 - Vectorització Automàtica SPOT 5

Com s'ha comentat doncs, en l'annex 1.1VII es troba el mapa resultant obtingut a partir de la vectorització automàtica de la imatge de Teledetecció del Satèl·lit Spot 5.

3.5.4.1 Dificultats SPOT

El fet d'haver de canviar de programari ha estat una dificultat, en part perquè s'ha intentat mitjançant molts formats intentar traspasar el fitxer entre programaris sense perdre la georeferenciació però o bé era impossible o bé quan ho fèiem el MiraMon no era capaç de posicionar bé la imatge i per tant calia georeferenciar un altre cop.

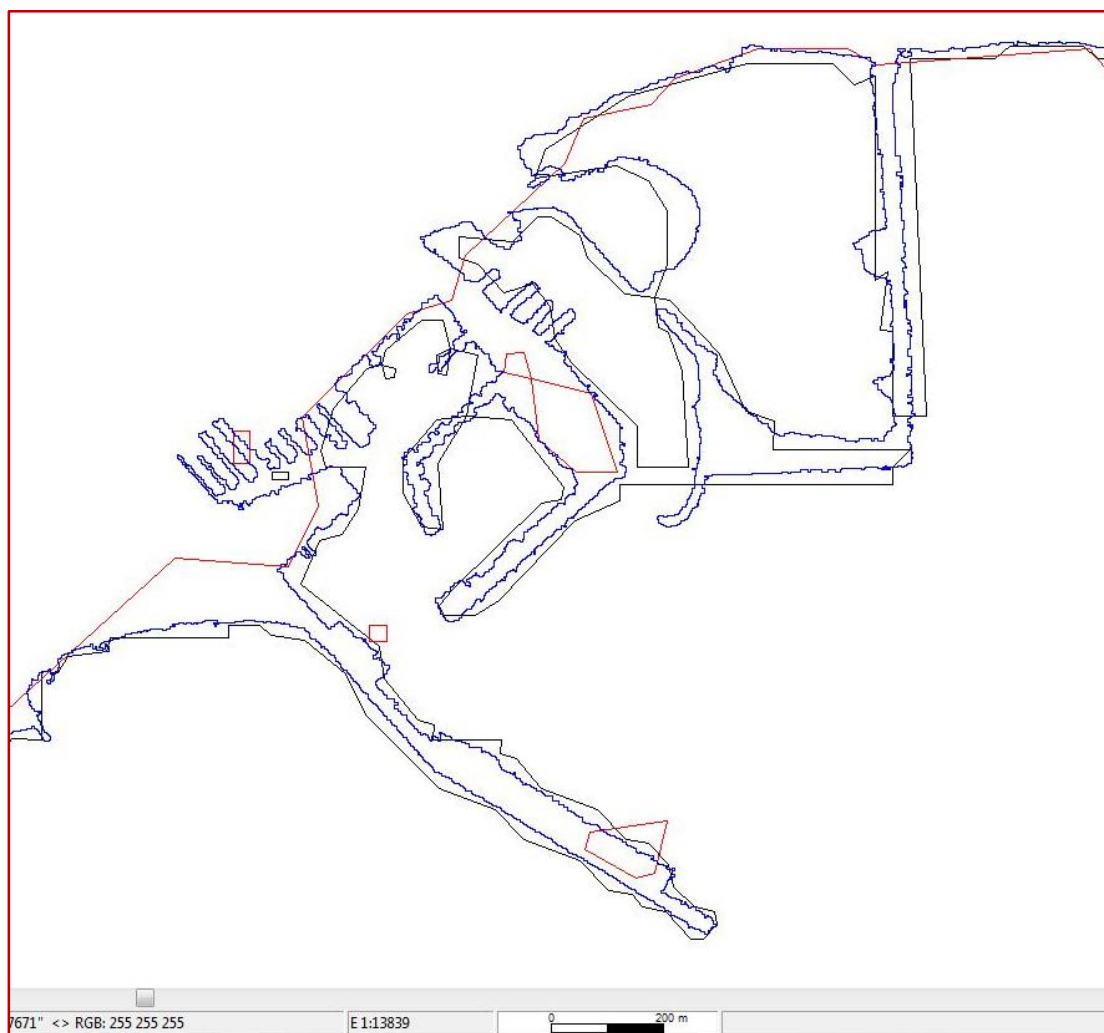


Figura 3.35 - Comparació LandSat1 ERTS - LandSat 5 TM - SPOT 5

A més, el fet de no poder obrir directament amb MiraMon les imatges SPOT 5 que s'havien descarregat ha comportat moltes hores invertides per obrir la imatge i transformar-la sense perdre els valors.

Cal explicar bé aquest fet ja que traspasar la imatge mitjançant el format .jpg ha implicat perdre la informació geogràfica però també la informació de píxel que porten incorporades les imatges ràster. Com ja s'ha comentat anteriorment, el primer punt s'ha solucionat georeferenciat de nou però per resoldre el segon apartat s'ha hagut de traspasar la imatge

en format de grisos (exactament assignant a cada un dels 256 valors de píxel de resolució) un to de gris diferent, d'aquesta manera a l'obrir la imatge amb MiraMon s'ha hagut de dir que agafi les diferents tonalitats de grisos com a valors de píxel. D'aquest manera s'ha pogut operar com ja s'ha explicat fent la selecció per atributs.

Malgrat aquestes dificultats s'ha volgut emprar aquestes imatges perquè la resolució és prou alta per permetre'ns resoldre un objectiu molt concret d'aquest PFC. Seguint la comparació feta en la Figura 3.29 en la Figura 3.35 podem observar com el vector de color blau corresponent a la imatge SPOT 5 s'ajusta molt més a la realitat definint gairebé tots els detalls del port.

Un altre tema que també és necessari comentar és la qualitat de les imatges. Així com és indiscutible la millora en la resolució cal mostrar que una de les imatges que s'ha emprat per fer la comparació està coberta per núvols Figura 3.36. Malgrat aquest obstacle s'ha decidit seguir treballant amb la imatge ja que l'objectiu d'aquestes és mesurar i calcular la diferència entre els fronts de Delta i els angles d'obertura dels braços com es veu en la Figura 3.37.

Tot i ser una imatge que en molts casos a l'hora d'estudiar la geomorfologia del Delta hagués estat apartada en aquest projecte té sentit la seva presència.

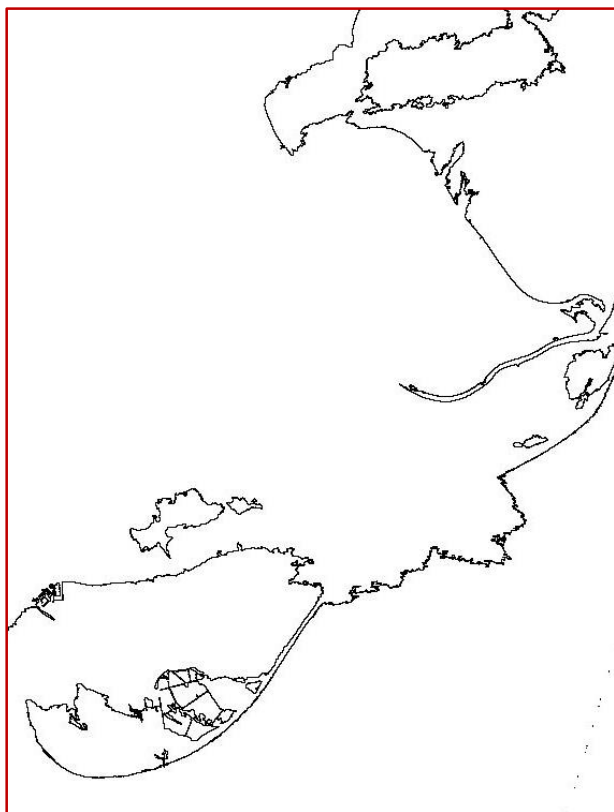


Figura 3.37 - Vectorització SPOT5

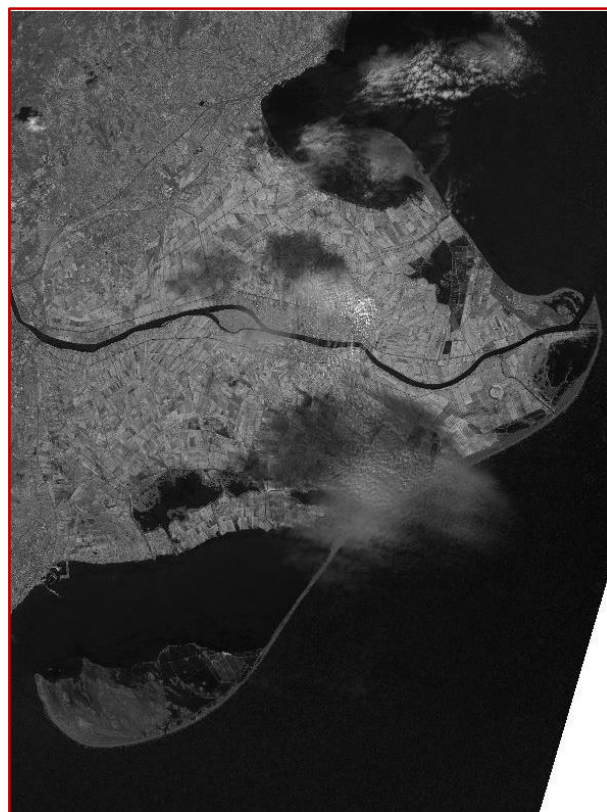


Figura 3.36 - Ràster SPOT5

4 ANALISI DELS RESULTATS

4.1 Estudi geomorfològic

4.1.1 Històric

Per realitzar aquest breu estudi, que té l'objectiu de complementar el Projecte, s'han emprat les cartografies dels anys 1919, 1972 i 2014.

S'ha triat aquestes imatges perquè les de l'any 1919 i 2014 són la primera i la última que tenim i s'ha afegit la cartografia de l'any 1972 per ser un any mig entre el període i donar consistència a les observacions.

Com es pot veure en la cartografia que s'adjunta en aquest estudi la georeferenciació de les diferents fonts d'informació és correcta ja que els límits de costa per sobre i per sota del Delta coincideixen com es pot veure en la Figura 4.1. Aquest fet és crucial ja que ens permet associar totes les diferències que observem en el Delta a variacions geomorfològiques i no a errors.

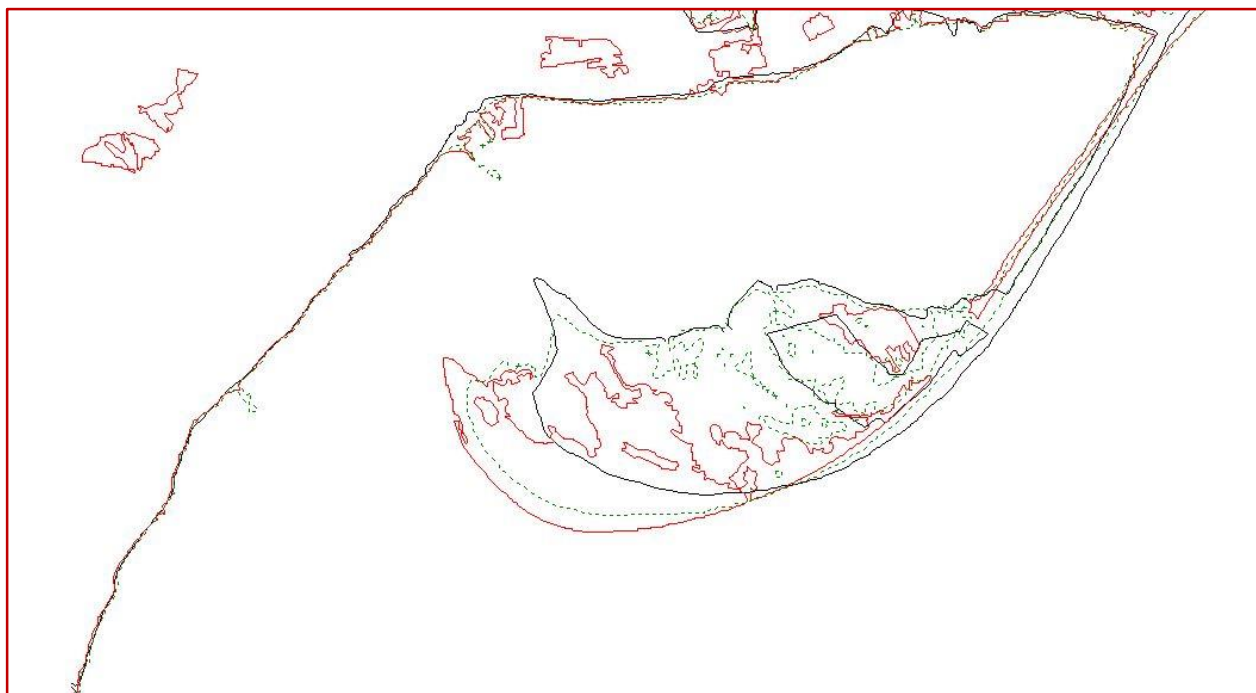


Figura 4.1 – Sageta sud - En negre 1919, en verd puntejat 1972 i en vermell 2014

Els punts on trobem més variacions són en el front deltaic, on observem un desplaçament de la línia de costa cap a l'interior i en la sageta sud, on observem un plegament que va acompanyat d'una extensió de les puntes finals. Finalment en la sageta nord s'observa una extensió del terreny però cap plegament. Per calcular les següents dades s'ha emprat la cartografia elaborada en la Figura 4.2 i l'ampliació en detall de la Figura 4.3.

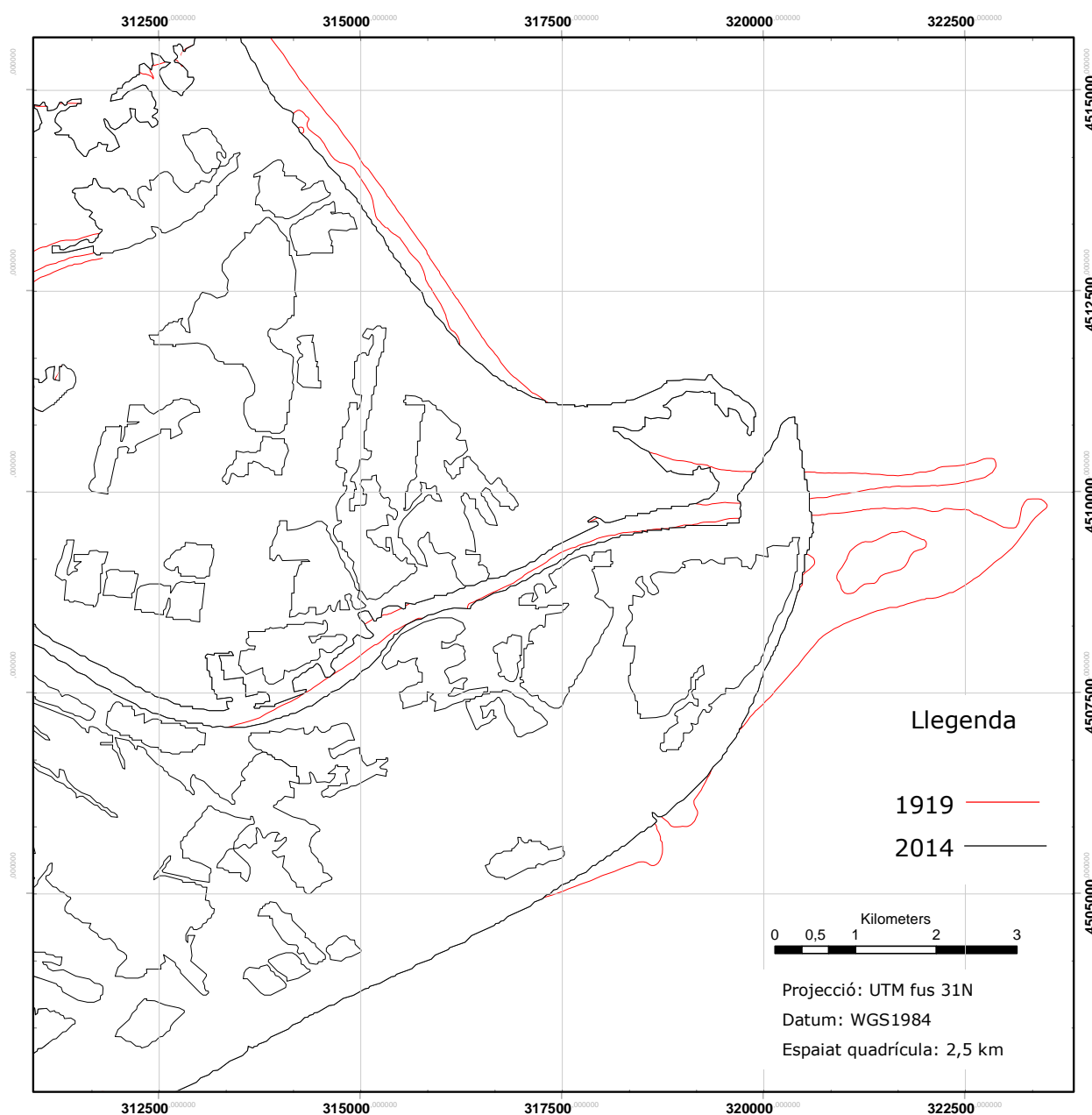


Figura 4.2 - Mapa detall del front deltaic

Retrogradació de la línia de costa en el període 1919 – 2014:

2.91 km

Gir cap a l'interior de la sageta sud (mesurat des del punt comú en la connexió amb la part central del Delta.)

5 °

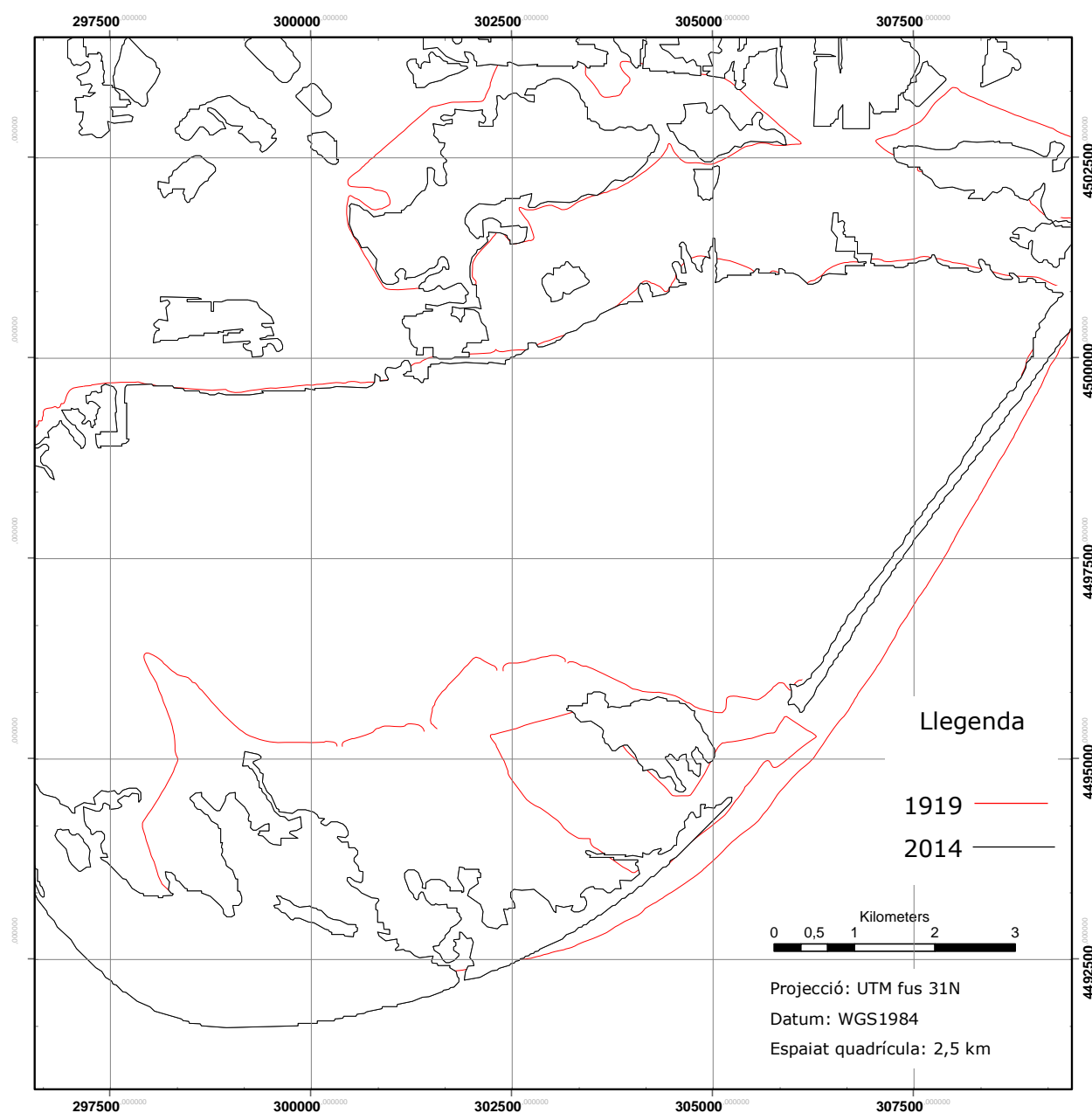


Figura 4.3 - Detall sageta sud

Per poder comparar amb les dades dels propers anàlisis s'ha fet una normalització de les deformacions per la seva durada, que es mostra en la Taula 4.1

Taula 4.1 - Resultats Totals (1919 - 2014)

Mesura	Temps	Resultat
2.94 km	95 anys	30,94 m/any
5 °		3'9,47" /any

4.1.2 Previ construcció de preses

Per avaluar les deformacions que ha patit el Delta de l'Ebre abans de tot el procés de construcció de preses s'ha triat les fonts d'informació corresponents a l'any 1919, 1938 i 1957. Aquestes dates són prèvies a la construcció dels embassaments de Mequinenza (1966) i Riba-Roja d'Ebre (1969).



Figura 4.4 - Ortofotografia de situació. En requadre vermell els embassaments. Font: Google Earth



Figura 4.5 - Ampliació del requadre de la imatge 40. Els requadre de la esquerra emmarca l'embassament de Mequinenza i el de la dreta el de Riba-Roja d'Ebre. Font: Google Earth

Aquests dos embassaments són els més propers a la desembocadura i són les reserves hídriques més grans que es troben al llarg del curs del riu Figura 4.4 i Figura 4.5. Per aquest motiu s'ha considerat la dècada dels seixanta com la dècada d'inflexió en l'afectació dels embassaments en el règim sedimentari.

De la mateix manera que hem fet en l'anàlisi anterior, podem observar que la georeferenciació de les tres fonts d'informació està ben feta ja que trobem que els límits de costa dels llocs que no tenen predisposició geològica per ser modificats es mantenen iguals al llarg dels anys.



Figura 4.6 - Sageta sud - En vermell 1919, en verd puntejat 1938 i en negre 1957

Com podem veure en la Figura 4.6 la diferència entre la vectorització de l'any 1919 i la de l'any 1938 és gairebé inexistente. Això pot ser degut a que la nova cartografia treu l'any 1938 va ser una reactualització de la cartografia existent. No obstant, cal recordar que la fulla de l'Illa de Buda (front del Delta) del MTN50 si que va patir una actualització l'any 1942.

Per calcular les dades que es presenten en les taules s'han emprat les cartografies de detall elaborades. Aquestes cartografies s'observen en la Figura 4.7 i en la Figura 4.8.

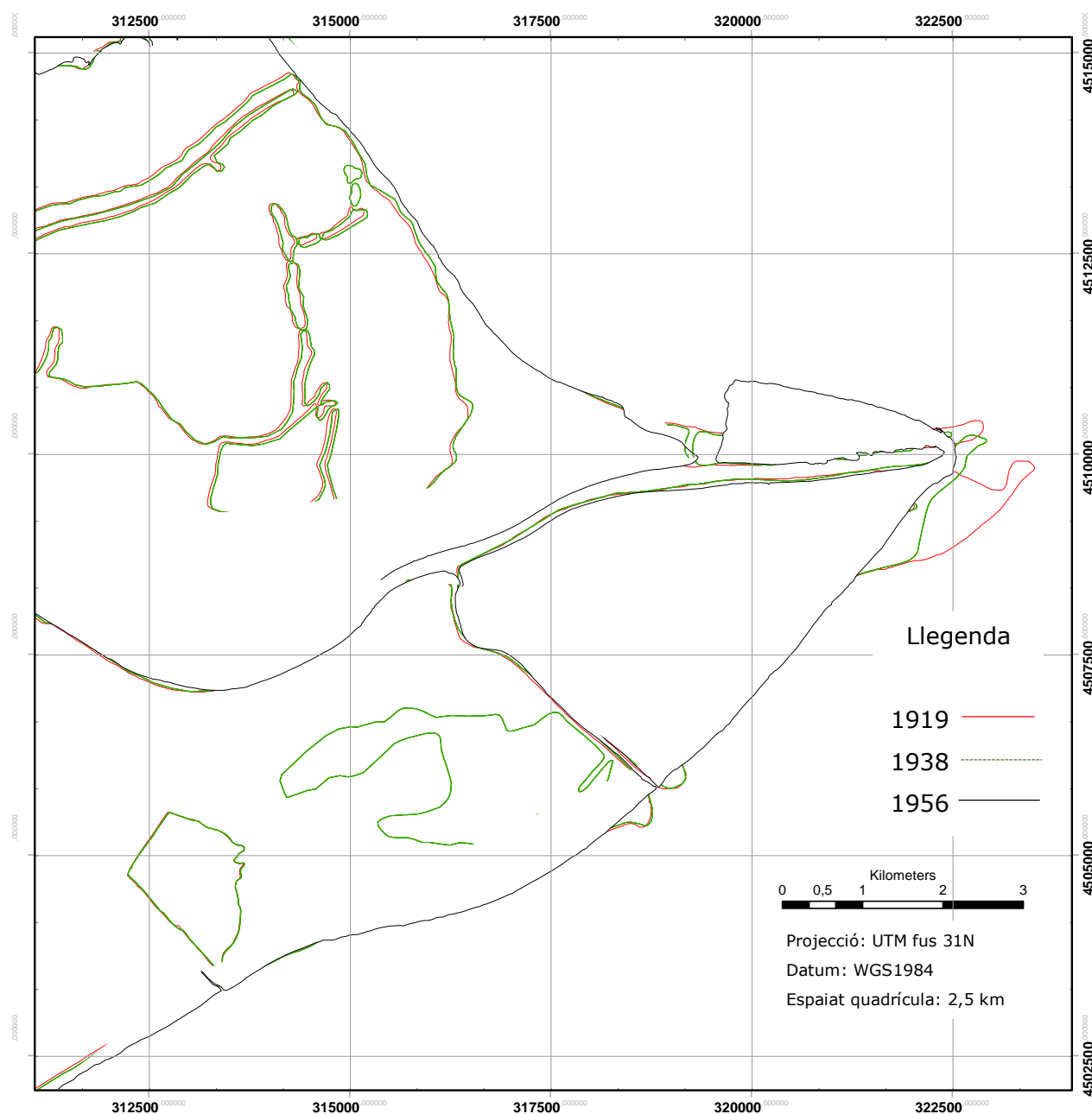


Figura 4.7 - Detall del front del Delta (Previ a la construcció de preses)

En la Taula 4.2 es mostra la regressió de la línia de costa durant el període 1919–1938–1956

Taula 4.2 - Resultats mesurats en el front del Delta entre 1919 i 1956

Període	Temps	Mesura	Resultat
1919 - 1938	19 anys	608,1 m	32 m/any
1938 - 1956	18 anys	376,2 m	20.9 m/any
Total	37 anys	984,3 m	26,60 m/any

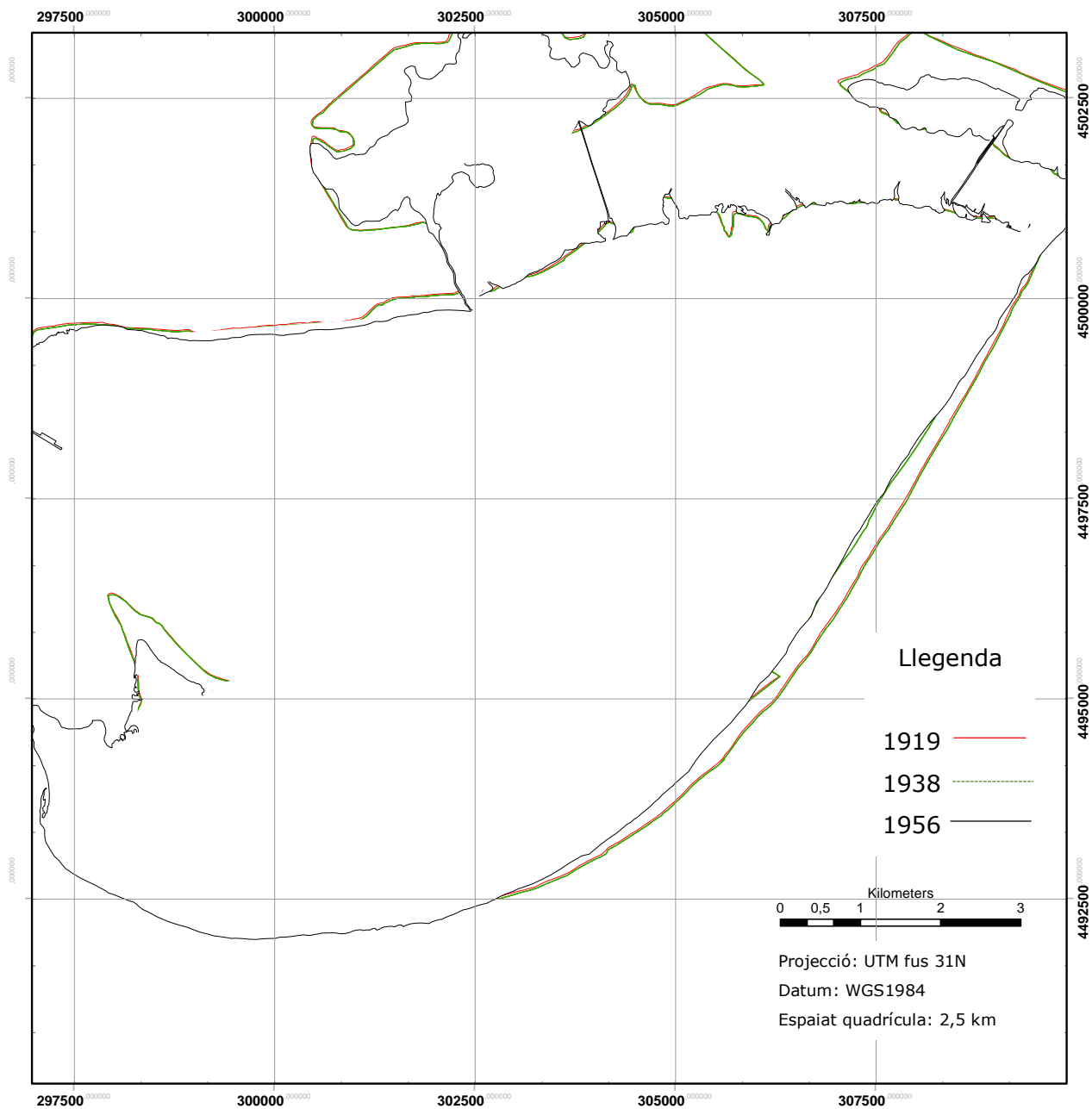


Figura 4.8 - Detall de la sageta sud (Previ a la construcció de preses)

En la Taula 4.3 es mostra el gir cap a l'interior de la sageta sud (mesurat des del punt comú en la connexió amb la part central del Delta).

Taula 4.3 - Resultats mesurats a la sageta sud entre el 1919 i el 1956

Període	Temps	Mesura	Resultat
1919 - 1938	19 anys	0°	0° / any
1938 - 1956	18 anys	3°	10' / any
Total	37 anys	3°	4' 51,89" / any

4.1.3 Post construcció de preses

De manera anàloga a l'apartat anterior, s'ha generat la cartografia corresponent i s'ha mesurat la regressió de la línia de costa del Delta de l'Ebre. En aquest apartat s'adjunta la cartografia de detall de la Figura 4.10 elaborada amb les dades dels anys 1957, 1990 i 2014 amb la que s'han realitzat els càlculs exposats en la Taula 4.4.

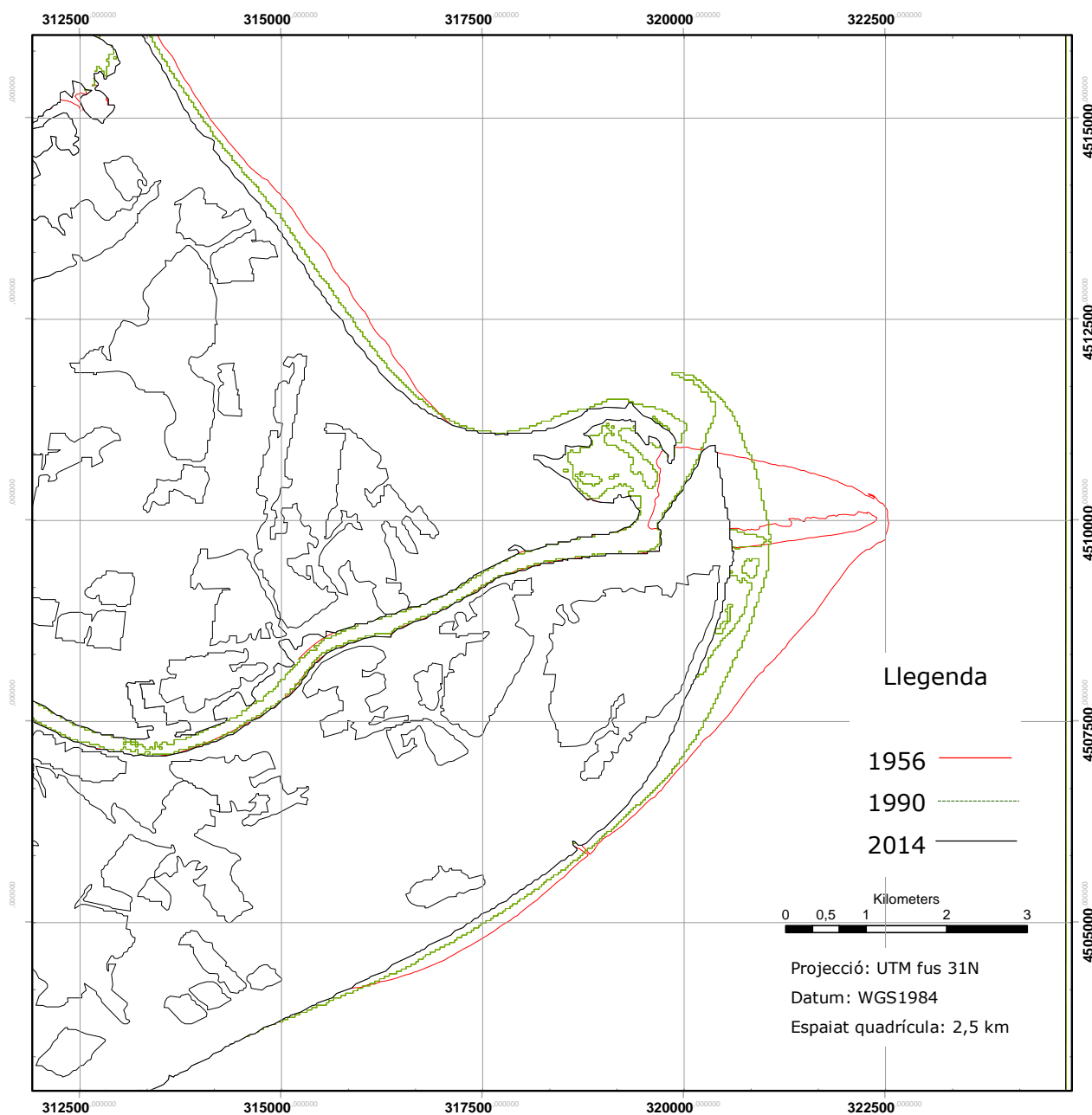


Figura 4.9 - Detall del front del Delta (Posterior a la construcció de preses)

Taula 4.4 - Resultats mesurats al front del Delta entre el 1956 i el 2014

Període	Temps	Mesura	Resultat
1956- 1990	34 anys	1501.6	44 m/any
1990 - 2014	24 anys	479 m	19,95 m/any
Total	58 anys	1980,6 m	34,14 m/any

Gràcies a l'automatització del procés que s'aplica a les imatges de teledetecció s'ha pogut efectuar la vectorització i el càlcul de la distància de la regressió en totes les fonts d'informació disponibles. D'aquesta manera s'obtenen els diferents vectors com s'observa en la Figura 4.10 i es pot calcular com es mostra en la Taula 4.5 la regressió del front del Delta.

Taula 4.5 - Tots els resultats mesurats a partir de l'any 1956

Període	Temps	Mesura	Resultat
1956- 1972	16 anys	875,4 m	44 m/any
1972 - 1990	18 anys	598,8 m	33,26 m/any
1990 - 1999	9 anys	208,9 m	23,21 m/any
1999 - 2007	8 anys	150,8 m	18,85 m/any
2007 - 2013	6 anys	150,3 m	25,05 m/any
2013 - 2014	1 any	inapreciable	-
Total	58 anys	1980,4 m	34,14 m/any

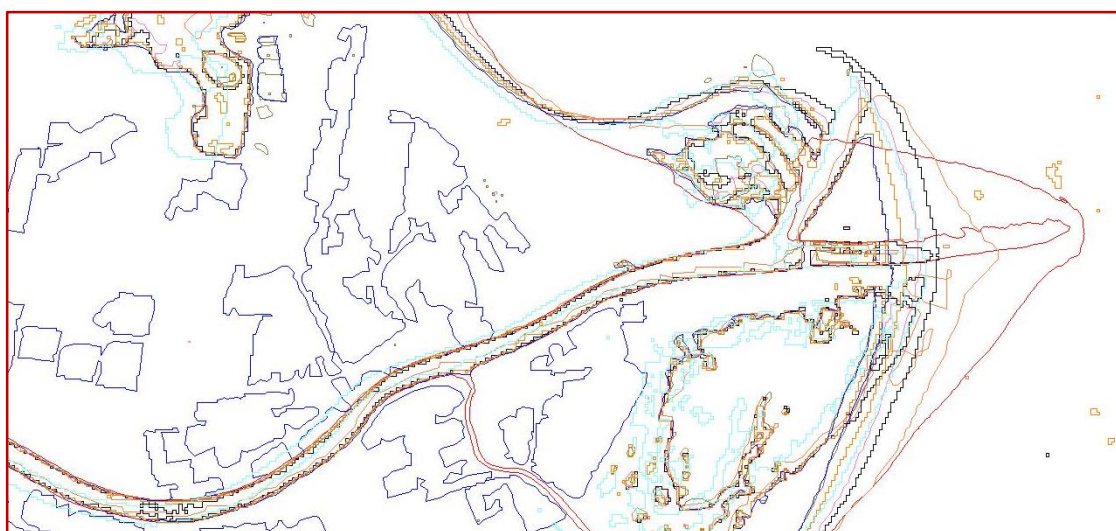


Figura 4.10 - Representació de tots els vectors digitalitzats (Posteriors a l'any 1956)

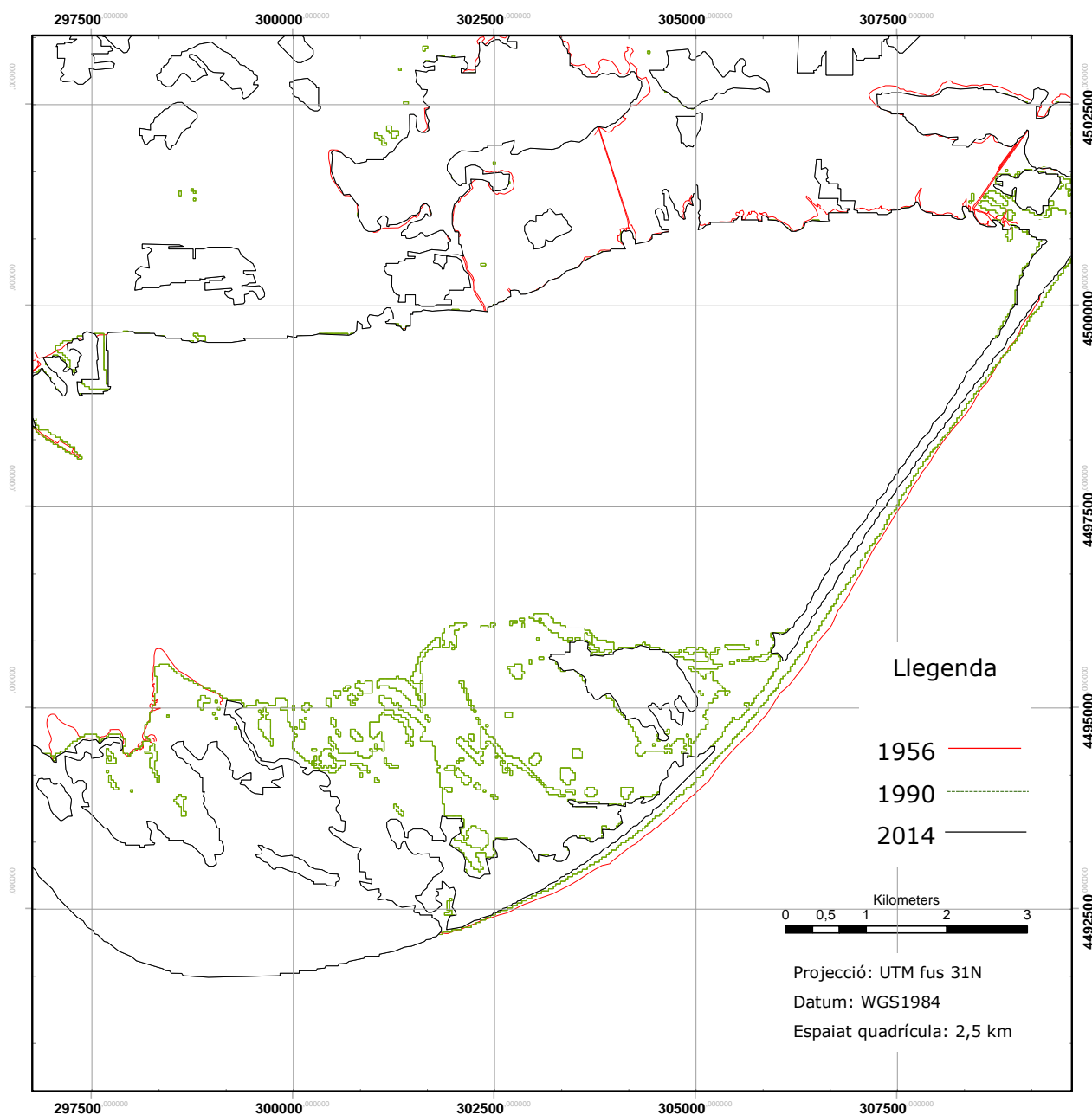


Figura 4.11 - Detall de la sageta sud (Posterior a la construcció de preses)

Finalment en la Taula 4.6 es mostra el gir cap a l'interior de la sageta sud calculat a partir de la cartografia de la Figura 4.11. (S'ha mesurat des del punt comú en la connexió amb la part central del Delta)

Taula 4.6 - Resultats mesurats a la sageta sud entre el 1956 i el 2014

Període	Temps	Mesura	Resultat
1956- 1990	34 anys	1° 30'	2' 38,82" / any
1990 - 2014	24 anys	0° 30'	1' 15" / any
Total	58 anys	2°	2' 4,14" / any

4.2 Estimació de la taxa de desintegració del Delta

Com s'ha vist en l'apartat anterior 4.1.3 per trobar una estimació de la taxa de desintegració del Delta que sigui coherent i consistent amb el tot el procés s'ha d'emprar imatges d'alta resolució i s'ha de deixar prou espai temporal per tal que la diferència entre els dos límits de costa superi en escreix la resolució dels píxels de la imatge.

Per aquest motiu s'ha cregut convenient emprar les imatges SPOT amb les que s'ha treballat anteriorment en l'apartat 3.5.4 corresponents als anys 2005 i 2010.

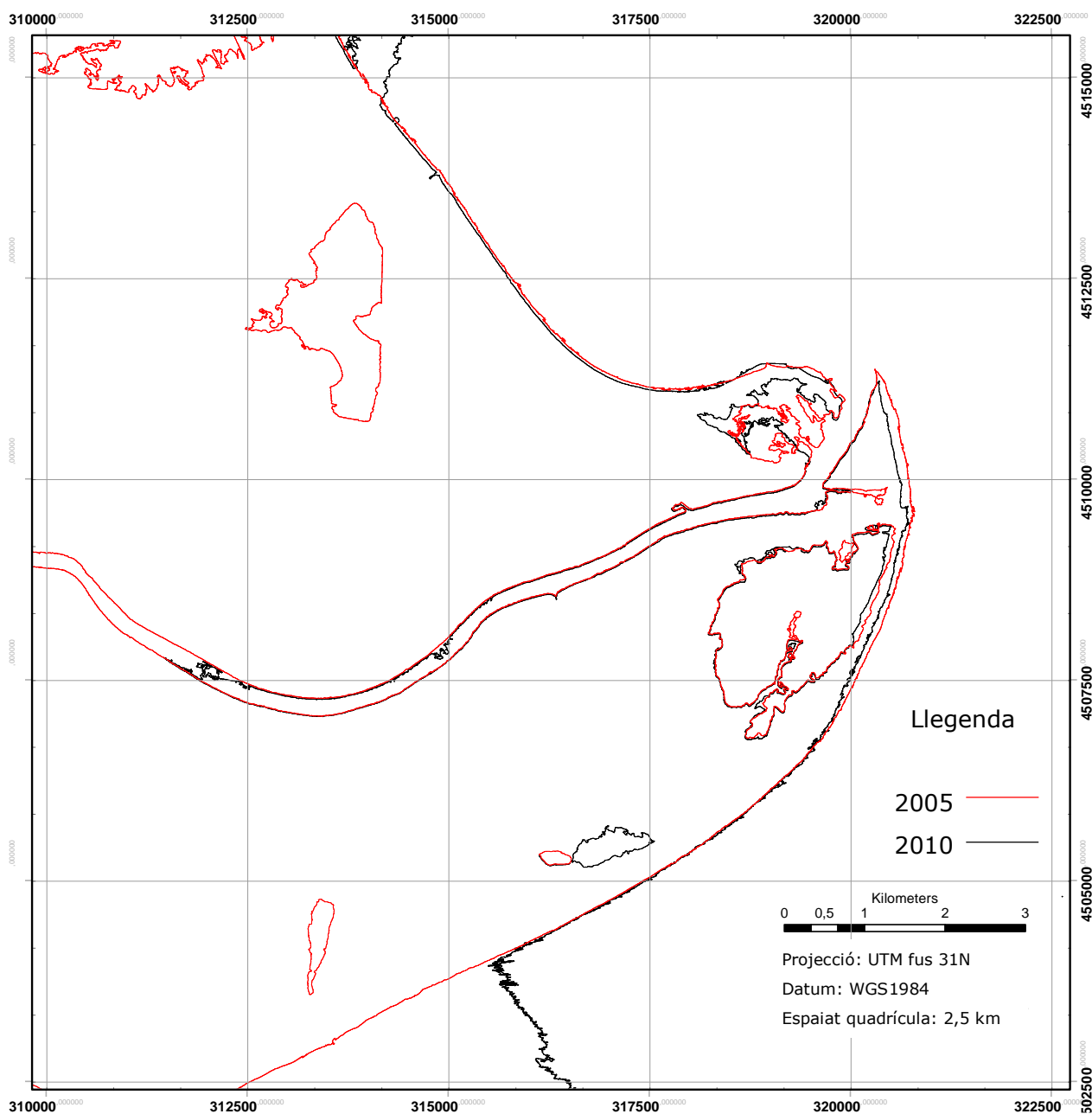


Figura 4.12 - Detall del front del Delta (Alta resolució)

Com podem observar en la Figura 4.12 veiem que la georeferenciació és perfecta i que malgrat en la imatge del 2010 trobem núvols, és un fitxer que ens serveix per quantificar la regressió del front deltaic. A més a més aquesta imatge ens serveix per determinar que la modificació geomorfològica actual del Delta de l'Ebre és degut a una regressió de la part frontal del Delta i no per un canvi en el curs del riu ja que observem a diferència del que passava amb les imatges més antigues que la desembocadura i el curs final del riu és mantenen iguals. Els resultats de la taxa de desintegració del Delta es mostren en la Taula 4.7.

Taula 4.7 - Resultat de la regressió anual

Període	Temps	Mesura	Resultat
2005 - 2010	<i>5 anys</i>	<i>130,6 m</i>	<i>26 m/any</i>

Sabent que la resolució de la nostra imatge és de 2,5 m i que s'han mesurat 130,6 m podem estimar que de manera intrínseca a la imatge es pot cometre un error gairebé del 2%. A més a més cal recordar que en tot el procés s'han emprat sistemes automatitzats però que alhora de fer la selecció per atributs era necessari prendre una decisió subjectiva.

Malgrat creure que les imatges són vàlides i l'estudi realitzat representatiu, cal mencionar que degut a la presència de nuvolositat en la imatge de l'any 2010 no s'ha pogut fer l'anàlisi complet que es plantejava en els objectius inicials. No s'ha pogut efectuar cap comptatge de píxels, amb els que podríem haver obtingut l'àrea que es degrada del Delta, perquè no existeix cap manera d'eliminar la nuvolositat i per tant el programari compta com a píxels propis del terreny aquells que són propis de la coberta de núvols.

CONCLUSIONS

Com s'ha pogut comprovar el front del Delta de l'Ebre està patint una regressió. Com podem veure en la Figura 5.1 aquesta regressió s'ha agreujat arran de la construcció de les preses

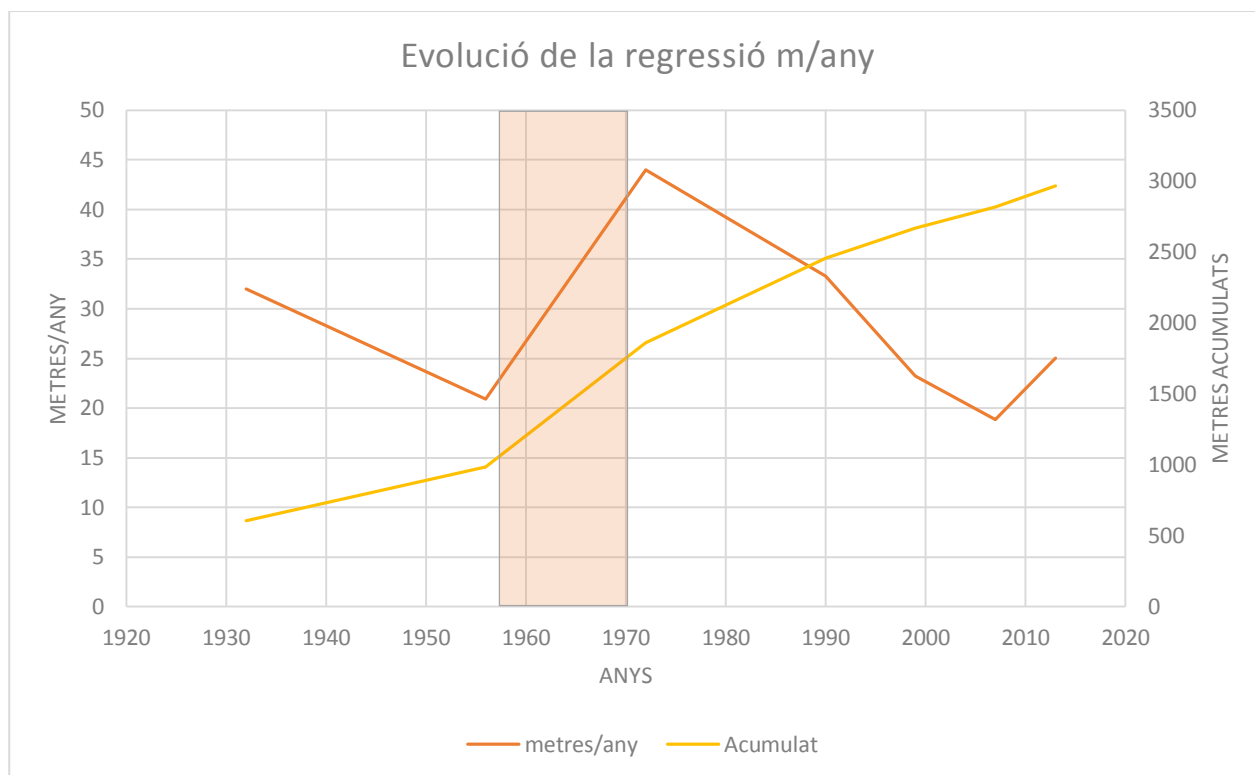


Figura 5.1 - Resultats de la regressió. La transparència colorada correspon al període de construcció de preses

En la gràfica podem observar com el primer tram de la línia groga (fins l'any 1956) és el que menys pendent té, aquesta dada és important perquè vol dir que el Delta de l'Ebre en els inicis de segle ja era un Delta amb tendència regressiva. Com s'ha explicat en la introducció hi ha molts factors que influeixen en el procés regressiu com la subducció del propi Delta, les oscil·lacions del nivell del mar o les grans variacions climàtiques, no obstant, també queda reflectit que a partir de la construcció de les grans preses el pendent de la regressió es dispara i assolix el seu màxim.

Quan estudiem la gràfica taronja (metres/any) observem molt ben representat el pic que produeix la construcció de les preses. Abans d'aquest pic observem una clara tendència a la baixa. Segurament aquesta tendència negativa (cada cop menys regressió) està mal interpretada i prové d'unes dades menys fiables que les que s'han pogut capturar els darrers anys (fan referència a la variació entre el MTN50 de l'any 1919 i del 1938). Finalment, observem que passat el pic dels anys 70 hi ha una certa tendència a regular-se, decreixent, de manera constant fins que en l'última dècada tornem a trobar un creixement del ritme de la

regressió. Aquest augment de la regressió en el tram final pot tenir moltes explicacions, des d'una modificació del cabal que arriba al Delta per causes naturals (esmentar l'episodi extraordinari de sequera dels anys 2007-2008) fins a l'augment desmesurat de construcció d'habitatges i obra pública que s'alimenta directament del riu.

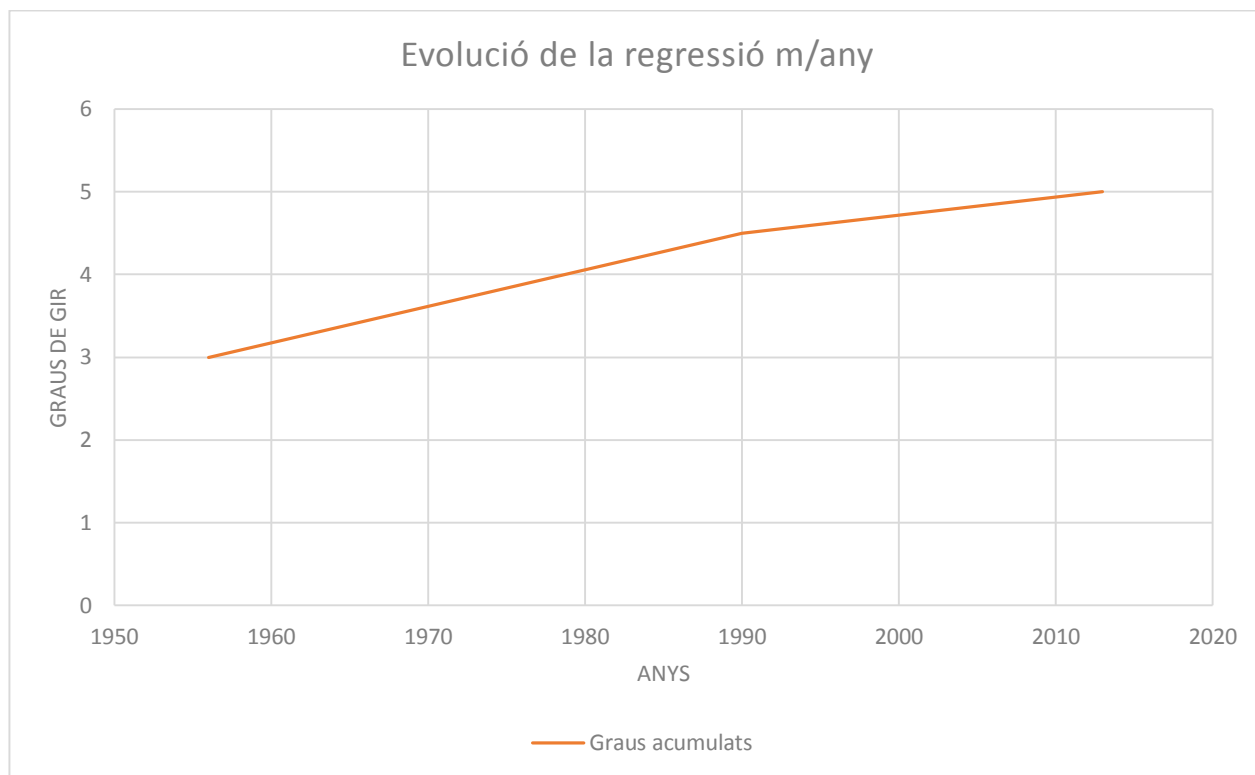


Figura 5.2 - Resultats del gir de la sageta sud

Com podem observar en la Figura 5.2 el gir angular de la sageta sud del Delta de l'Ebre ha seguit al llarg del darrer segle una tendència bastant uniforme. Per aquest motiu no podem associar a aquest moviment una relació directa amb la construcció de preses. Tot i així ha quedat palès i demostrat en aquest projecte que la sageta sud del Delta de l'Ebre està patint un plegament cap a l'interior a un ritme prou constant. Aquest projecte no té la capacitat de donar resposta aquest fet sinó de donar les dades per a que els tècnics sedimentòlegs siguin capaços d'interpretar-ho.

Alhora de calcular la taxa de desintegració (metres per any) ens trobem com s'ha observat en l'apartat 4.1.3 no hi ha manera de discernir un ritme actual de deformació perquè quan busquem anys molts propers i recents (cas 2013 – 2014) ens trobem que la deformació que calculem és menor a la pròpia resolució de les imatges ràster. És a dir, en el moment de capturar la informació el sensor no pot discernir la variació que s'ha produït, per aquest motiu s'ha pensat en l'objectiu 4.2 que ens ha de permetre mitjançant imatges d'alta resolució i un espaiat temporal de 5 anys trobar un ritme de regressió del Delta més acurat.

Com hem observat, en aquesta interpretació dels resultats hem obtingut una taxa de 26 metres/any. Aquest resultat és bastant concordant amb els resultats que havíem calculat anteriorment en la interpretació dels resultats posterior a la construcció de preses. De nou, podem veure en la Figura 5.3 que les dues línies que indiquen deformacions en metre per any (verda i taronja) tendeixen a convergir cap a un valor comú de regressió en metres per any.

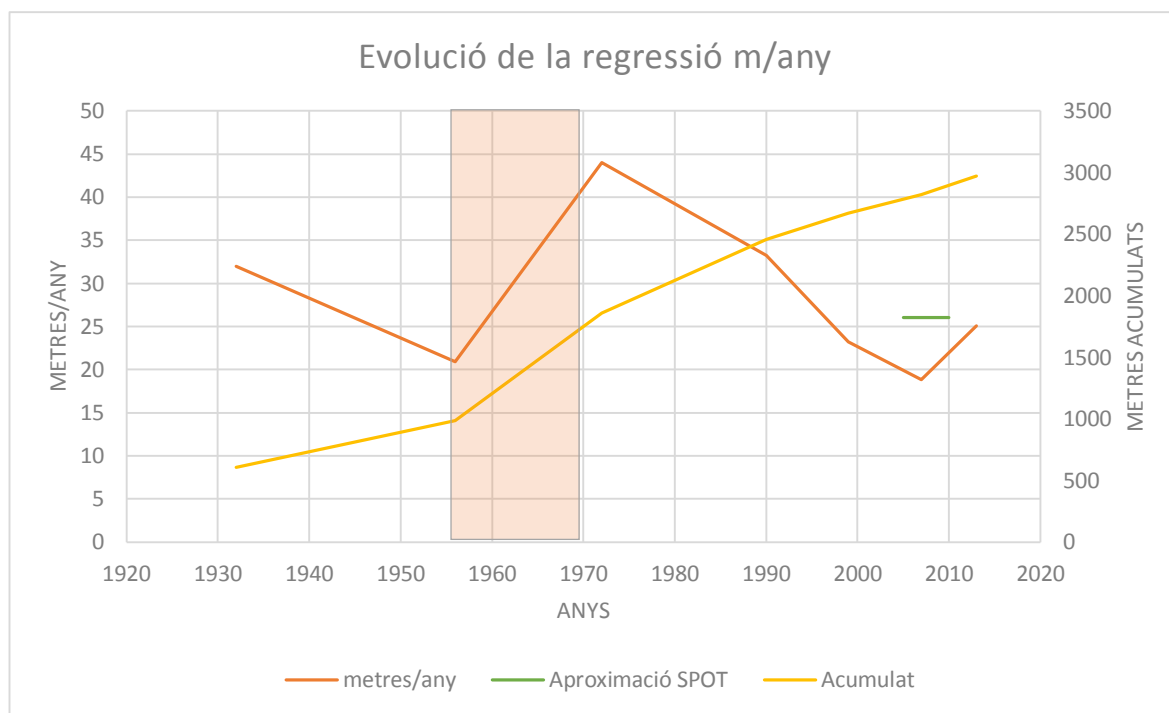


Figura 5.3 Representació de la regressió del front del Delta en metres per any. La transparència colorada correspon al període de construcció de preses

Aquesta darrera comprovació ens permet valorar que els resultats obtinguts són correctes ja que amb fonts de dades diferents (imatges LandSat i imatges SPOT) obtenim resultats bastant concordants i coherents. A més, el fet de no haver barrejat imatges de satèl·lits diferents (amb resolucions que no són les mateixes) en les comparacions ha fet que no obtinguem un error extra que podria haver estat provocat per fer servir imatges amb resolucions diferents.

Per tant podem concloure que existeix una regressió de la part frontal del Delta de l'Ebre i que aquest PFC ha estat capaç de demostra-la, mesurar-la i calcular-ne una taxa actual de la que se'n poden fer extrapolacions a determinats anys vista. No obstant, cal recordar, com també s'ha demostrat, la gran variabilitat al llarg del temps d'aquests successos.

Amb aquest projecte s'ha fet evident la vulnerabilitat d'aquest espai de gran atractiu natural i en conseqüència posa en valor les reivindicacions que, avui en dia, vetllen per garantir la viabilitat d'aquest espai, protegint els seus habitants, els seus interessos i les seves poblacions.

BIBLIOGRAFIA I PÀGINES WEB CONSULTADES

Bibliografia

Taller d'Enginyeria Ambiental, SL (2008), Estudis de base per a una estratègia de prevenció i d'adaptació al canvi climàtic N1: Delta de l'Ebre. Anàlisi de vulnerabilitat del Delta de l'Ebre, Generalitat de Catalunya, Catalunya

Grup de Geologia Marina, (-), Geozona 320 Front del Delta de l'Ebre (Hemidelta Nord), Facultat de Geològica, Universitat de Barcelona, Barcelona

Molinet Coll, Victor (2006), Restauración del Delta del Ebro I. Recuperación de la configuración del Delta del Ebro. Projecte Final de Carrera d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports – UPC

Confederación Hidrográfica del Segura (2011), El Vuelo Americano de 1956 en la Cuenca del Segura. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España, Murcia

Meliá Miralles, Joaquín (1991), La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: agricultura. Universitat de València, València.

Arbelo, Manuel (2012), Introducció a la Teledetecció. Universitat de la Laguna, La Laguna

Pàgines web

Institut Cartogràfic de Catalunya [<http://www.icc.cat>]

Instituto Geográfico Nacional [<http://www.ign.es>]

Confederación Hidrográfica del Ebro [<http://www.chebro.es>]

Confederación Hidrográfica del Segura [<http://www.chsegura.es>]

Glovis [<http://glovis.usgs.gov/>]

USGS [<http://www.usgs.gov/>]

EPSEB [<http://www.epseb.upc.edu/>]

AGRAÏMENTS

Aquest treball no hagués estat possible sense el suport de la meva família, constant i obstinat, que ha entès en tot moment la situació en la que em trobava i m'ha permès aplaçar diverses vegades l'entrega d'aquest Projecte.

També vull agrair a l'IGN pel suport que m'han donat, els dubtes que m'han resolt i les explicacions que m'han fet arribar sempre que els hi ho he sol·licitat. A més d'agair la cessió gratuïta (sota llicència d'estudiant) que fan de la Cartografia Històrica que tenen en propietat.

Igualment aquest agraïment s'estén a les diferents universitats on he estat estudiant i al seu professorat. A l'EPSEB (UPC) per ser l'embrió de tot plegat, permetrem descobrir aquest món, fer que m'agradi i arrelar en mi l'ambició de seguir formant-me. Agraïment especial per donar-me els coneixements i les eines per fer realitat aquest Projecte. A l'escola de Camins (UPC), per malgrat tot, seguir-me formant, dotant-me de criteri tècnic i enginyeril i fer que l'esforç i la tenacitat formin part de la meva formació. I finalment agrair també a la Facultat de Geologia (UB) per mostrar-me que hi ha vida més enllà de l'enginyeria, fer-me entendre la universitat com a punt de trobada i lloc de creixement personal, a més d'evidenciar-me que el coneixement ha de ser inclusiu, multidisciplinari i amb perspectiva de futur

A més a més vull agrair a tots els companys de classe amb els qui he caminat per alguna facultat. Especialment als companys del Grau d'Enginyeria Geològica que han hagut de compaginar infinitat de treballs en grup amb l'elaboració d'aquest Projecte.

En la mateixa línia vull agrair a l'escola on al llarg d'aquests anys he estat treballant, vull agrair als monitors i directors que també m'han recolzat en tot moment i sobretot als joves i adolescents que al llarg d'aquests anys m'han donat la força i el coratge per seguir endavant amb tots els projectes.

I finalment vull ser especialment agraït amb la meva tutora Càrol Puig, sense ella ni hagués existit aquest Projecte ni tampoc estaria estudiant el Grau d'Enginyeria Geològica. Vull agrair-li el compromís que ha mantingut al llarg d'aquests tres anys. La seva disposició per resoldre els dubtes sempre que ha estat necessari i el seu suport i assessorament que, més enllà del projecte, m'ha donat al llarg dels anys. Agrair-li l'esforç que ha fet en tot moment per dedicar-me tot el temps que he necessitat i per acompanyar-me. Gràcies per ser part de l'energia i l'empenta d'aquest Projecte que ens ha servit per evadir-nos durant una estona de les respectives rutines.

Per tot això, i per molt més, el més profund dels agraïments.

ÍNDIX DE FIGURES I TAULES

FIGURA 1.1 - CONCA HIDROGRÀFICA DE L'EBRE FONT: PORT(u*o)s L·LICÈNCIA C.C ESCALA : 1:5.000.000.....	8
FIGURA 1.2- DELTA DE L'EBRE FONT: GOOGLE ESCALA: 1:250.000.....	9
FIGURA 1.3 - MAPA GEOLÒGIC DELTA DE L'EBRE FONT: IGC ESCALA: 1:250.000 (L·LEGENDA A L'ANNEX).....	10
FIGURA 2.1 - PLANA 522 (TORTOSA) DEL MTN50 1919 FONT: IGN.....	14
FIGURA 2.2 - PLANA 522 (TORTOSA) DEL MTN50 1938 FONT: IGN.....	15
FIGURA 2.3 - FOTOGRAMA DEL VOL AMERICÀ FONT: SANTIAGODELAPUEBLA.COM	16
FIGURA 2.4 - MOSAIC ORTOFOTOGRAFIA VOL AMERICÀ FONT: ICC	17
FIGURA 2.5 - ESPECTRE E·LECTROMAGNÈTIC.....	19
FIGURA 2.6 - DIFERENTS RESOLUCIONS ESPACIALS.....	20
FIGURA 2.7 - RESOLUCIÓ TEMPORAL DE 24 HORES.....	20
FIGURA 2.8 - SERVIDOR D'IMATGES LANDSAT GLOVIS.....	23
FIGURA 3.1 - CARÀTULA DEL MIRA·MON 7 (CREAF & UAB).....	27
FIGURA 3.2 - CARÀTULA DE L'ARCMAP 10.2 (ARCGIS - ESRI).....	27
FIGURA 3.3 -CAPTURA DEL PROGRAMARI MIRA·MON. GESTOR DE METADADES	28
FIGURA 3.4 - DETALL DEL NIVELL D'AMPLIACIÓ.....	29
FIGURA 3.5 - PROCÉS DE DIGITALITZACIÓ	30
FIGURA 3.6 - DIGITALITZACIÓ DE LA PLANA 547 - 1919 (MTN50).....	30
FIGURA 3.7 - DIGITALITZACIÓ DEL MTN50 DE L'ANY 1919	31
FIGURA 3.8 - ERROR EN LA CONCORDANÇA ENTRE PLANES.....	32
FIGURA 3.9 - DIGITALITZACIÓ DE LA PLANA 547 - 1938 (MTN50).....	33
FIGURA 3.10- DIGITALITZACIÓ DEL MTN50 DE L'ANY 1938	34
FIGURA 3.11 - DIFERÈNCIES ENTRE ELS VECTORS DE L'ANY 1919 I DEL 1938.....	34
FIGURA 3.12 - VECTORITZACIÓ MTN50 ANY 2008	35
FIGURA 3.13 - MAPA VECTORIAL DE L'IGN – 2008.....	36
FIGURA 3.14 - COMPARACIÓ DEL MTN50 VECTORIAL (BLAU I VERD) AMB EL MTN50 VECTORITZAT (VERMELL)	36
FIGURA 3.15 - COMPARACIÓ ENTRE EL MTN50 RÀSTER, MTN50 VECTORITZAT (VERMELL) I MTN50 VECTORIAL (NEGRE)	37
FIGURA 3.16 - DIGITALITZACIÓ DE LA ORTOFOTOGRAFIA - 1957	38
FIGURA 3.17 - DIGITALITZACIÓ DE L'ORTOFOTO.....	39
FIGURA 3.18 - DIRECCIÓ DEL VOL. EXPLICACIÓ DE LES DIFERENTS TONALITATS (SENTIT INVENTAT).....	39
FIGURA 3.19 - ERROR EN LA GEOREFERENCIACIÓ DELS FOTOGRA·MES I DIFERÈNCIA DE TONALITATS.....	40
FIGURA 3.20 - DOS FOTOGRA·MES CORRECTAMENT GEOREFERENCIATS PERÒ AMB DIFERENT TONALITAT	40
FIGURA 3.21 - NDWI ANY 1972.....	42
FIGURA 3.22 - SELECCIÓ PER ATRIBUTS. VERMELL PÍ·XELS AMB VALOR > 0 (POSITIUS)	43
FIGURA 3.23 - SELECCIÓ PER ATRIBUTS. VERMELL PÍ·XELS AMB VALOR > 0.25 (POSITIUS + AJUST)	43
FIGURA 3.24 - CARTOGRAFIA BINÀRIA. BLANC VALOR 0. NEGRE VALOR 1.....	44
FIGURA 3.25 - SELECCIÓ PER ATRIBUTS (<35) EN LA BANDA IRp.....	45
FIGURA 3.26 - VECTORITZACIÓ LANDSAT 1972.....	46
FIGURA 3.27 - COMBINACIÓ DE CARTOGRAFIES (NDWI - IRp).....	47
FIGURA 3.28 - ERROR EN LA VECTORITZACIÓ AUTOMÀTICA (TRAM DEL RIU ÈBRE). EN VERMELL VECTORITZACIÓ MANUAL (ANY 1957) I EN NEGRE VECTORITZACIÓ MANUAL (ANY 1972)	48
FIGURA 3.29 - COMPARACIÓ LANDSAT1 ERTS AMB LANDSAT 5 TM	50

FIGURA 3.30 - VECTORITZACIÓ IMATGE 2013	51
FIGURA 3.31 - CULTIUS VECTORITZATS (GENER 2014).....	52
FIGURA 3.32 - IMATGE SPOT5 OBERTA AMB ArcMAP.....	52
FIGURA 3.33 - IMATGE SPOT5 OBERTA AMB MIRAMON.....	53
FIGURA 3.34 - VECTORITZACIÓ AUTOMÀTICA SPOT 5.....	54
FIGURA 3.35 - COMPARACIÓ LANDSAT1 ERTS - LANDSAT 5 TM - SPOT 5	55
FIGURA 3.36 - RÀSTER SPOT5	56
FIGURA 3.37 - VECTORITZACIÓ SPOT5	56
FIGURA 4.1 – SAGETA SUD - EN NEGRE 1919, EN VERD PUNTEJAT 1972 I EN VERMELL 2014	57
FIGURA 4.2 - MAPA DETALL DEL FRONT DELTAIC	58
FIGURA 4.3 - DETALL SAGETA SUD	59
FIGURA 4.4 - ORTOFOTOGRAFIA DE SITUACIÓ. EN REQUADRE VERMELL ELS EMBASSAMENTS. FONT: GOOGLE EARTH	60
FIGURA 4.5 - AMPLIACIÓ DEL REQUADRE DE LA IMATGE 40. ELS REQUADRE DE LA ESQUERRA EMMARCA L'EMBASSAMENT DE MEQUINENZA I EL DE LA DRETA EL DE RIBA-ROJA D'EBRE. FONT: GOOGLE EARTH.....	60
FIGURA 4.6 - SAGETA SUD - EN VERMELL 1919, EN VERD PUNTEJAT 1938 I EN NEGRE 1957	61
FIGURA 4.7 - DETALL DEL FRONT DEL DELTA (PREVI A LA CONSTRUCCIÓ DE PRESES)	62
FIGURA 4.8 - DETALL DE LA SAGETA SUD (PREVI A LA CONSTRUCCIÓ DE PRESES)	63
FIGURA 4.9 - DETALL DEL FRONT DEL DELTA (POSTERIOR A LA CONSTRUCCIÓ DE PRESES)	64
FIGURA 4.10 - REPRESENTACIÓ DE TOTS ELS VECTORS DIGITALITZATS (POSTERIOR A L'ANY 1956).....	65
FIGURA 4.11 - DETALL DE LA SAGETA SUD (POSTERIOR A LA CONSTRUCCIÓ DE PRESES)	66
FIGURA 4.12 - DETALL DEL FRONT DEL DELTA (ALTA RESOLUCIÓ).....	67
FIGURA 5.1 - RESULTATS DE LA REGRESSIÓ. LA TRANSPARÈNCIA COLORADA CORRESPON AL PERÍODE DE CONSTRUCCIÓ DE PRESES	69
FIGURA 5.2 - RESULTATS DEL GIR DE LA SAGETA SUD	70
FIGURA 5.3 REPRESENTACIÓ DE LA REGRESSIÓ DEL FRONT DEL DELTA EN METRES PER ANY. LA TRANSPARÈNCIA COLORADA CORRESPON AL PERÍODE DE CONSTRUCCIÓ DE PRESES.....	71
FIGURA B.1 - INTERPRETACIÓ MALDONADO, 1972	77
FIGURA B.2 - INTERPRETACIÓ IBERINSA, 1992.....	77
FIGURA B.3 - INTERPRETACIÓ CANICIO E IBÁÑEZ, 1999.....	78
TAULA 2.1 - FONTS D'INFORMACIÓ (ANY, FORMAT, ORIGEN, PROCÉS).....	13
TAULA 2.2 - RESUM DE LES RESOLUCIONS DELS SENSORS UTILITZATS.....	21
TAULA 2.3 - BANDES ESPECTRALS LANDSAT 1 MSS	22
TAULA 2.4 - BANDES ESPECTRALS LANDSAT 5 TM	23
TAULA 2.5 - RELACIÓ DE DATES DE LES IMATGES LANDSAT 5 TM.....	24
TAULA 2.6 - BANDES ESPECTRALS LANDSAT 8 OLI - TIRS	25
TAULA 2.7 - BANDES ESPECTRALS SPOT 5	26
TAULA 4.1 - RESULTATS TOTAIS (1919 - 2014).....	59
TAULA 4.2 - RESULTATS MESURATS EN EL FRONT DEL DELTA ENTRE 1919 I 1956	62
TAULA 4.3 - RESULTATS MESURATS A LA SAGETA SUD ENTRE EL 1919 I EL 1956	63
TAULA 4.4 - RESULTATS MESURATS AL FRONT DEL DELTA ENTRE EL 1956 I EL 2014.....	65
TAULA 4.5 - TOTS ELS RESULTATS MESURATS A PARTIR DE L'ANY 1956	65
TAULA 4.6 - RESULTATS MESURATS A LA SAGETA SUD ENTRE EL 1956 I EL 2014	66
TAULA 4.7 - RESULTAT DE LA REGRESSIÓ ANUAL.....	68

ANNEX

A. Llegendra Mapa Geològica

Quaternari

Plistocè mitjà i superior

Q 2 A) Llims lacustres (Olot). B) Lutites, lims i croses (Barcelona). C) Travertins (Banyoles).

Q 2 D) Graves (terasses i glacis). E) Argiles i còdols (col·luvions). F) Conglomerats, gresos i lutites (cons de dejecció). G) Blocs i argiles (til·lita, morenes).

Neogen

Pliocè

N 3 A) Sediments marins: Lutites, margues, gresos, conglomerats i bretxes (Rosselló, Empordà, Baix Llobregat, Baix Ebre). B) Calcàries i lutites amb lignits (Baix Ebre). C) Gresos (Selva). D) Conglomerats, calcàries i margocalcàries (la Selva). E) Conglomerats, gresos i lutites (Cerdanya, Rosselló, Selva, Penadès, Vallès). F) Bretxes (Rosselló).

Miocè superior - Pliocè

N 2-3 A) Lutites vermelles, gresos i conglomerats (Empordà). B) Arcoses, lutites i conglomerats (Selva).

Miocè mitjà i superior

N 2 A) Gresos silícis i bioclàstics (Montjuïc). B) Arcoses i lutites (Caldes de Montbui). C) Lutites i gresos (Cerdanya, Vallès, Penadès). D) Conglomerats, gresos i lutites (Cerdanya, Vallès i Valls). E) Conglomerats (Sentmenat, Penadès, Cerdanyola). F) Bretxes (Cerdanyola).

Miocè inferior

N 1 A) Calcàries esculloses (Penadès). B) Calcàries bioclàstiques (Penadès). C) Llims, margues i gresos bioclàstics (Penadès).

N 1 D) Guixos (Vilobí del Penadès). E) Arcoses i conglomerats (Vallès). F) Lutites, gresos i conglomerats (Castellblanca). G) Conglomerats, gresos i lutites, localment calcàries lacustres (la Sèria, la Jana, Móra). H) Bretxes, conglomerats i gresos (Camp de Tarragona, Penadès, Rosselló).

Paleogen

Oligocè

P 8 A) Arcoses (Campins). B) Bretxes (Nostra Dona de Pena).

P 8 C) Lutites, localment gresos i calcàries (Costa de Fraga). D) Calcàries i lutites, localment dolomies i guixos (Torrent de Cinca). E) Lutites (Cardener).

P 8 F) Calcàries (Tàrraga, Castellón).

Eocè superior - Oligocè

P 8 G) Lutites, gresos, margues i calcàries localment dolomies i guixos (la Fatarella, la Granja d'Escarp, Sanaüja, Torà), i localment lignits (Calaf, Mequinensa). H) Lutites roges, gresos i calcàries (Batea, Granero, Arlés, Flot). I) Gresos i lutites (Fraga, Solsona, l'Albagés, Móra). J) Conglomerats, gresos i lutites (Solsona, Margalef). K) Conglomerats massius (Sant Llorenç de Morunys, Comils, Colletats, Sant Jeroni, Montseny).

Juràssic - Cretaci inferior

J 3 - C 1 **Malm - Neocomià**
A) Calcàries amb esponges (Móra). B) Calcàries laminades i margues amb intercalacions dolomítiques (la Pleta). C) Dolomies i calcàries.

Juràssic

Retià - Lias

J 1 Bretxes, dolomies, calcàries, margues i calcarenites, localment evaporites a la base.

Triàsic

T 4 **Norià**
Dolomies ben estratificades (imón).

T 1-4 **Anisià - Carnià**
A) Argiles versicolors, evaporites i B) Dolomies (el Pont de Suert).

T 3-4 **Carnià**
Argiles versicolors i evaporites (Fàcies Keuper).

T 2-3 **Ladinià**
Dolomies, calcàries i margues (Fàcies Muschelkalk superior).

T 2 **Anisià superior - Ladinià inferior**
Lutites roges amb nivells de guixos, intercalacions locals de dolerites, paleocanals de gresos i dolomies al sud (Fàcies Muschelkalk mitjà).

T 1-2 **Anisià**
Dolomies i calcàries (Fàcies Muschelkalk inferior).

T 1 **Escitià**
Conglomerats de quars, gresos i lutites roges (Fàcies Buntsandstein).

Carbonífer

Carbonífer inferior i mitjà

Ca **Tournaisià - Westfalià inferior**
A) Lutrils amb nòduls de fosfats i calcàries, Turbidites, gresos, pel·les i conglomerats poligenics (Fàcies Culm, Beliver de Cerdanya). B) Microconglomerats, calcofilites, pel·les i carbonats (Pla dels Estanyes).

Roques intrusives Tardohercinianes "Massissos superiors"

MPA Microgranitoides, pegmatites i apiltes granítics.

GR A) Leucogranits (B) (Ma). B) Granits leucocràtics. C) Granits biotítics, localment amb amfibol accessori.

GRD A) Granodiorites biotítics. B) Granodiorites biotítico-hornblendiques. C) Granodiorites biotítics amb ortopiraxè.

TO A) Tonalites biotítics o biotítico-hornblendiques. B) Tonalites biotítics o biotítico-hornblendiques amb ortopiraxè.

Signes convencionals

Contacte Falla suposada

Falla

Falles majors

Falla Falla normal

Encavalcament

Falla suposada

571

Sondatge d'exploració

B. Maldonado, 1972

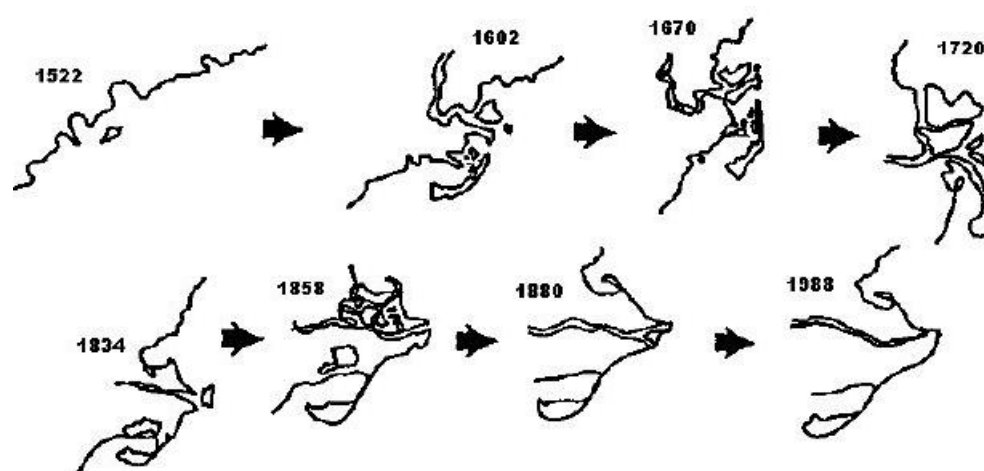


Figura B.1 - Interpretació Maldonado, 1972

C. Iberinsa, 1992

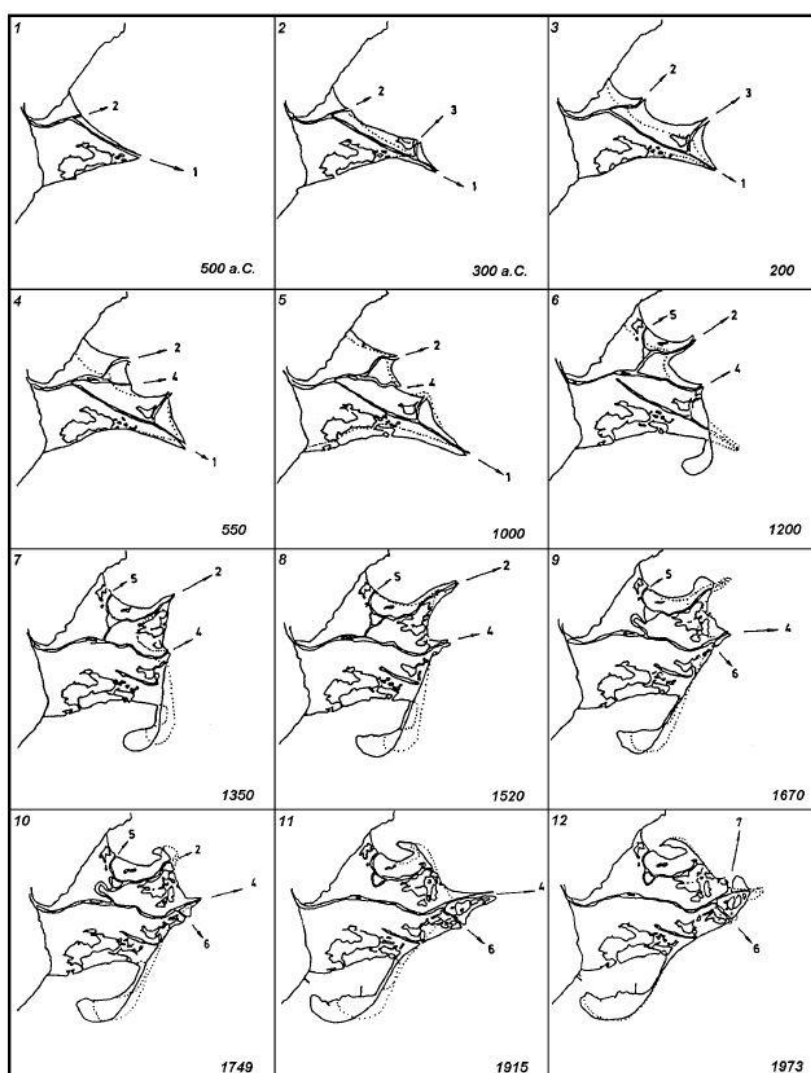


Figura B.2 - Interpretació Iberinsa, 1992

D. Canicio e Ibáñez, 1999

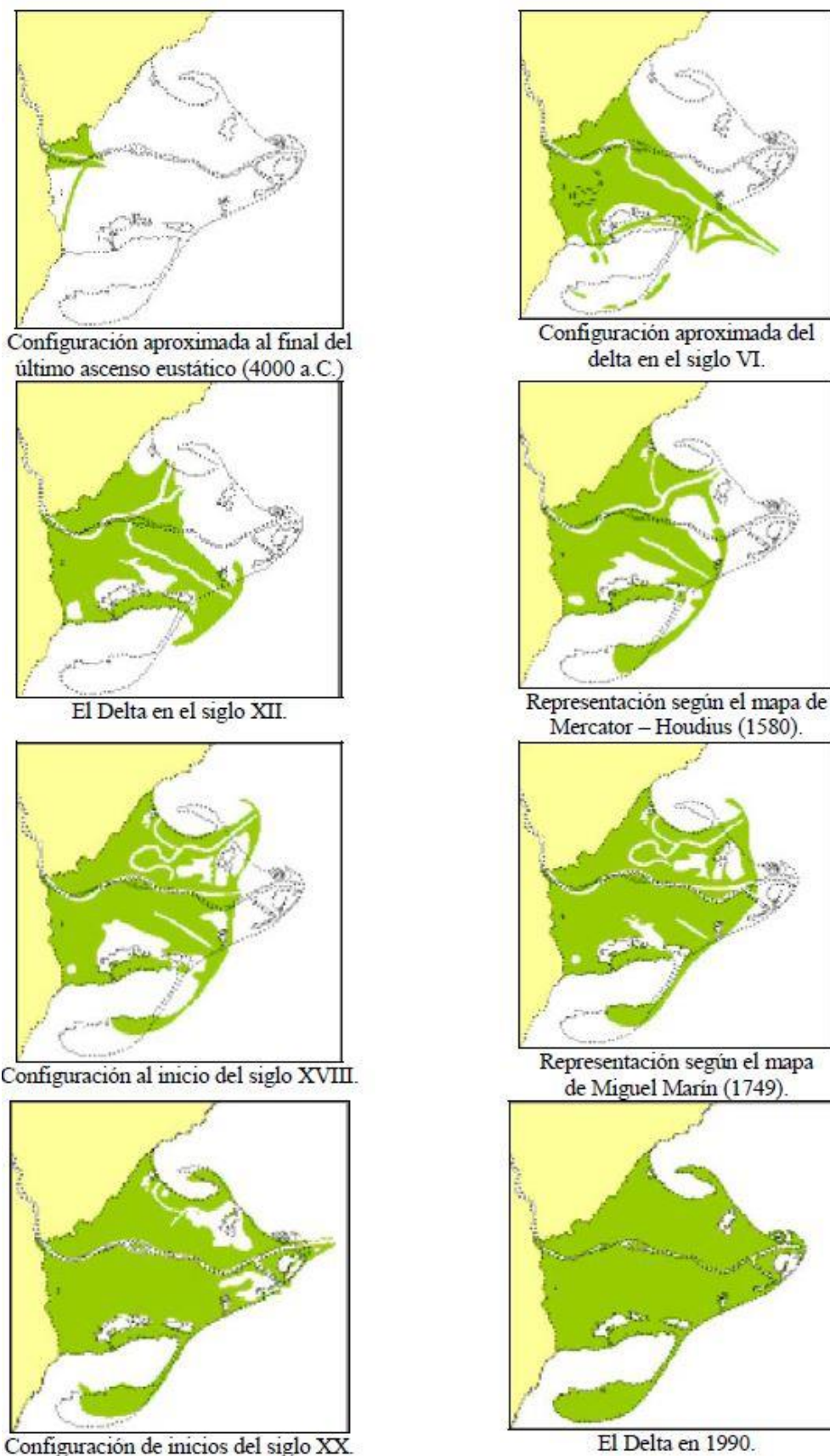
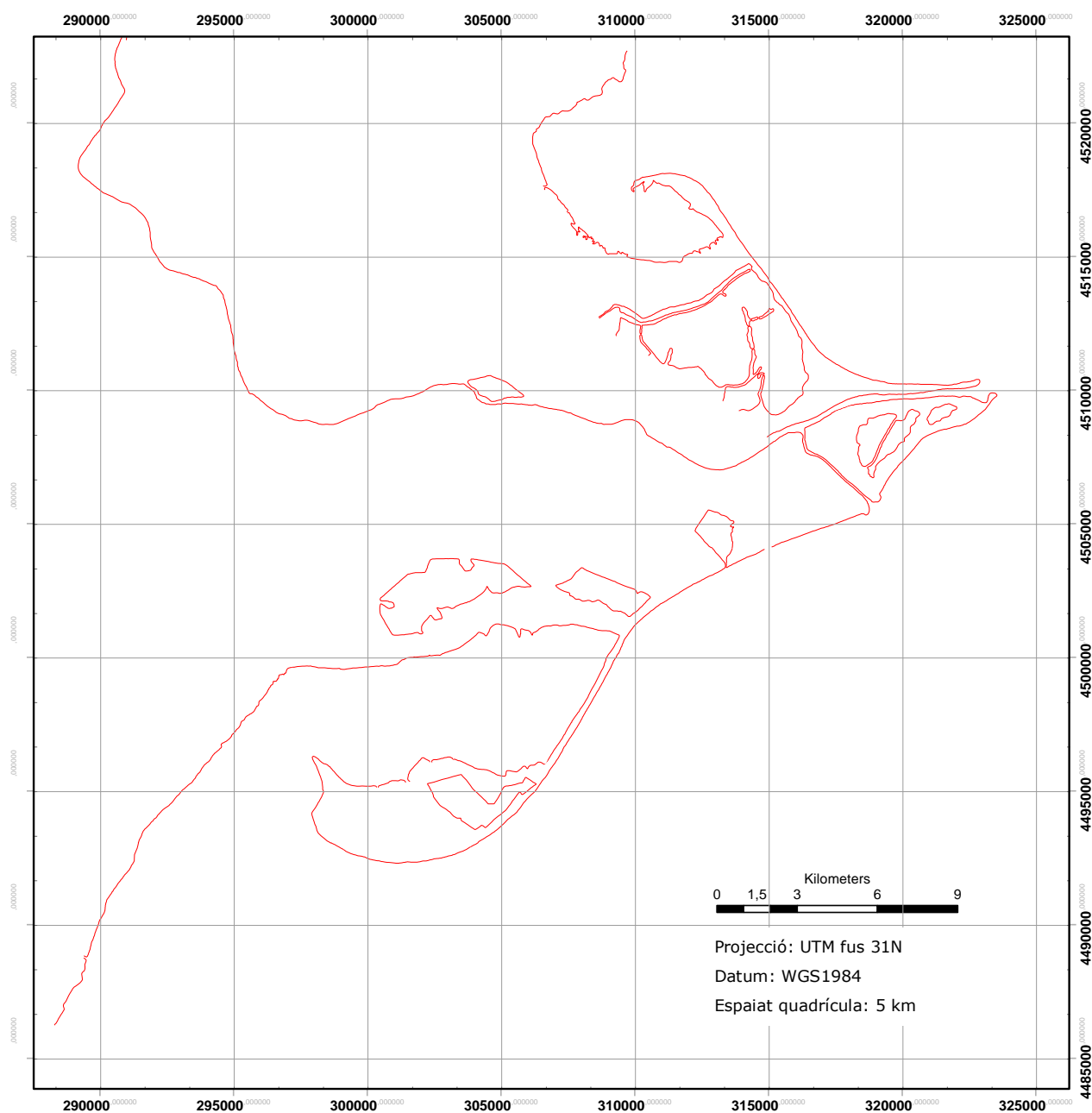


Figura B.3 - Interpretació Canicio e Ibáñez, 1999

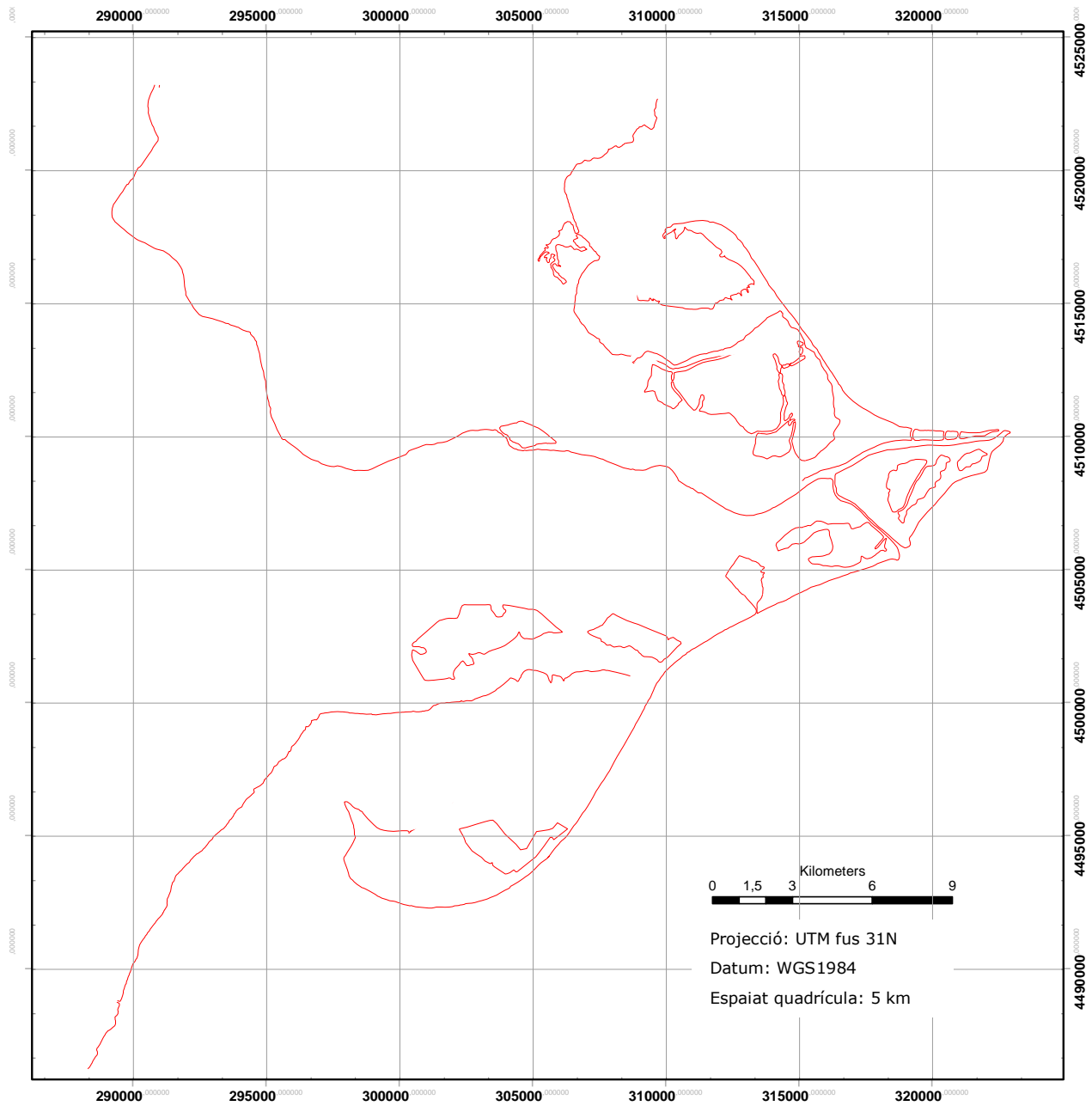
E. Resultats

En aquest apartat de l'annex s'adjunten totes les cartografies resultants dels diferents processos que s'han efectuat al llarg d'aquest Projecte.

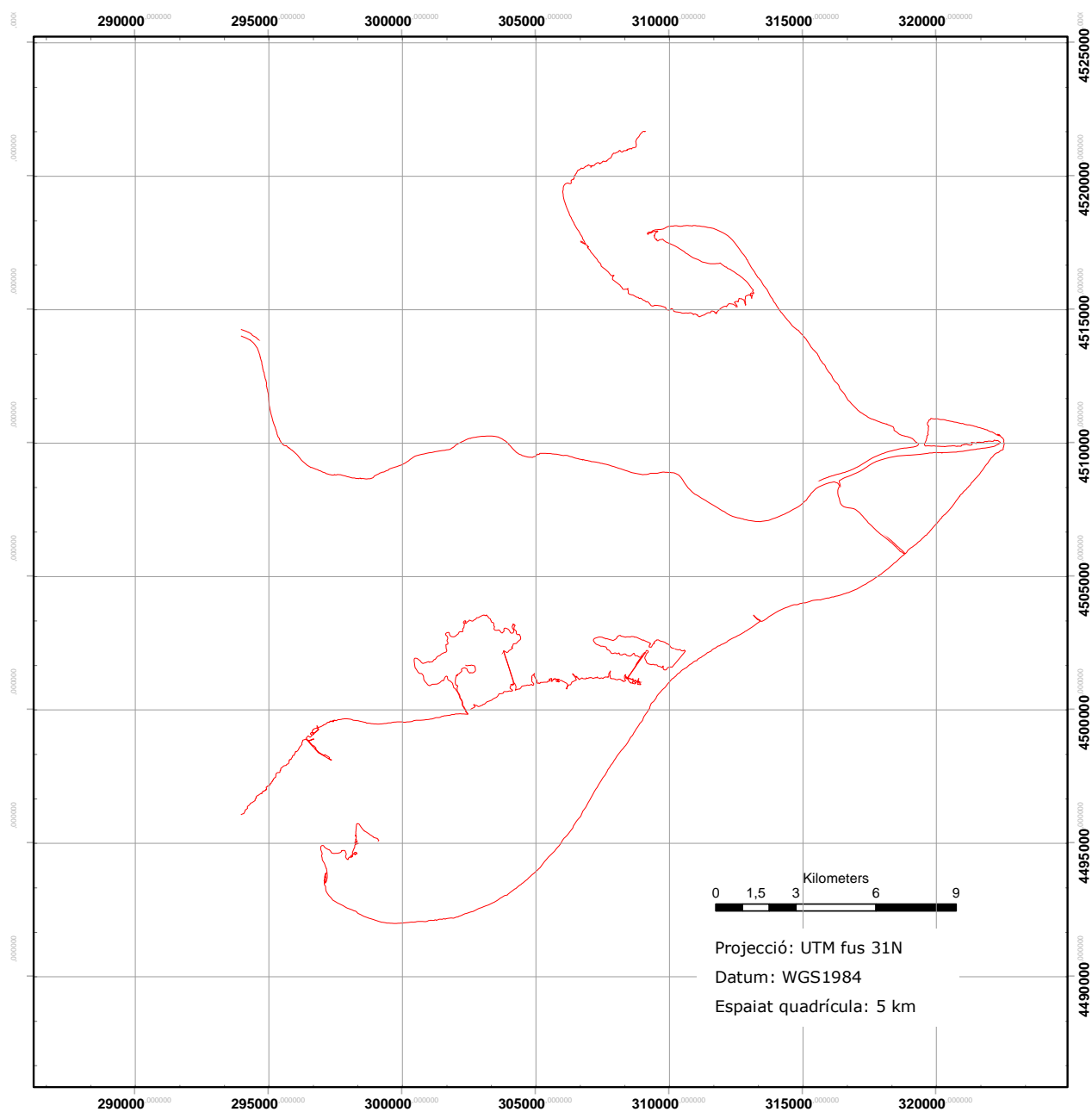
I. Mapa vectorial – MTN50 (1919)



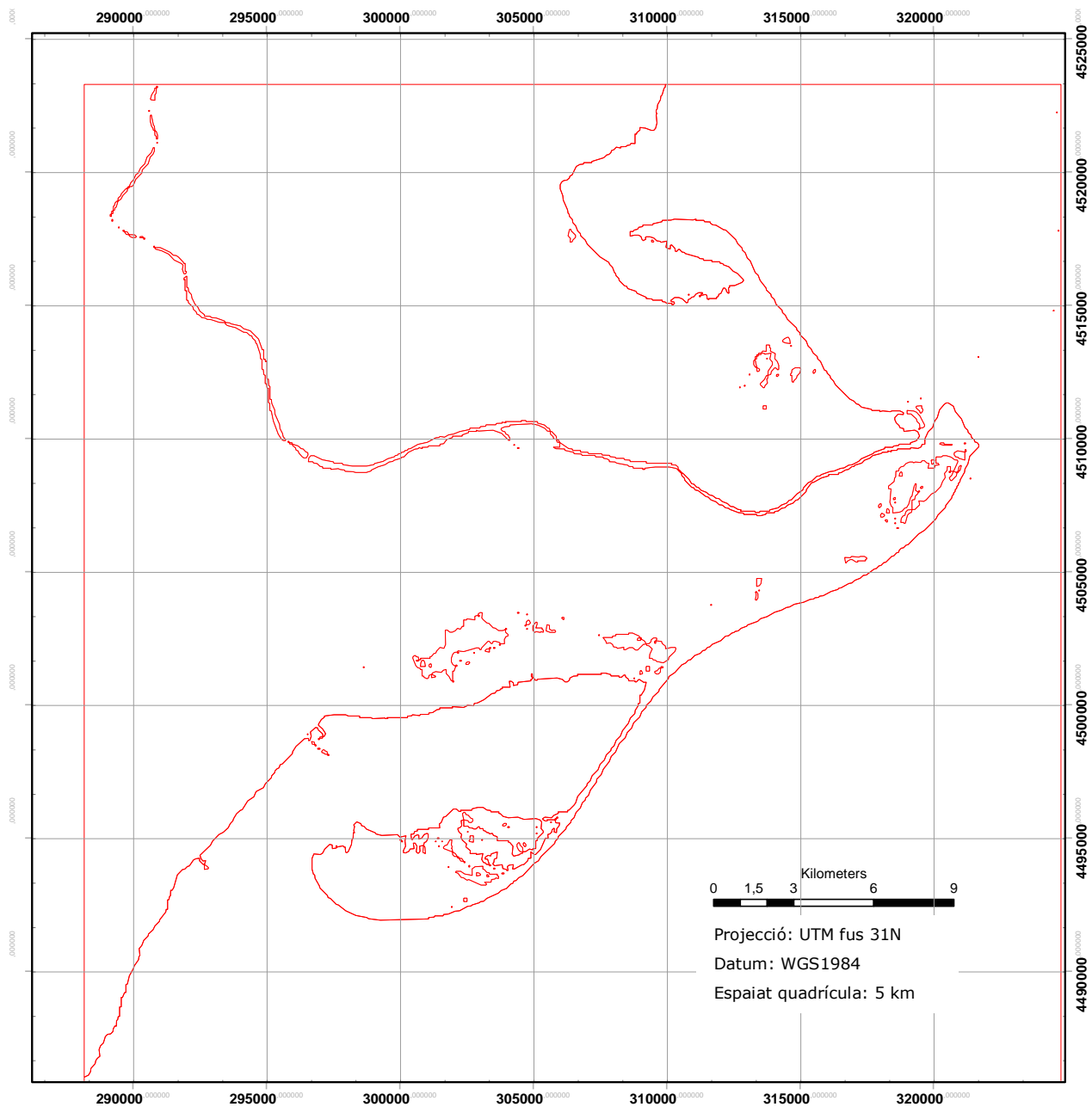
II. Mapa vectorial – MTN50 (1938)

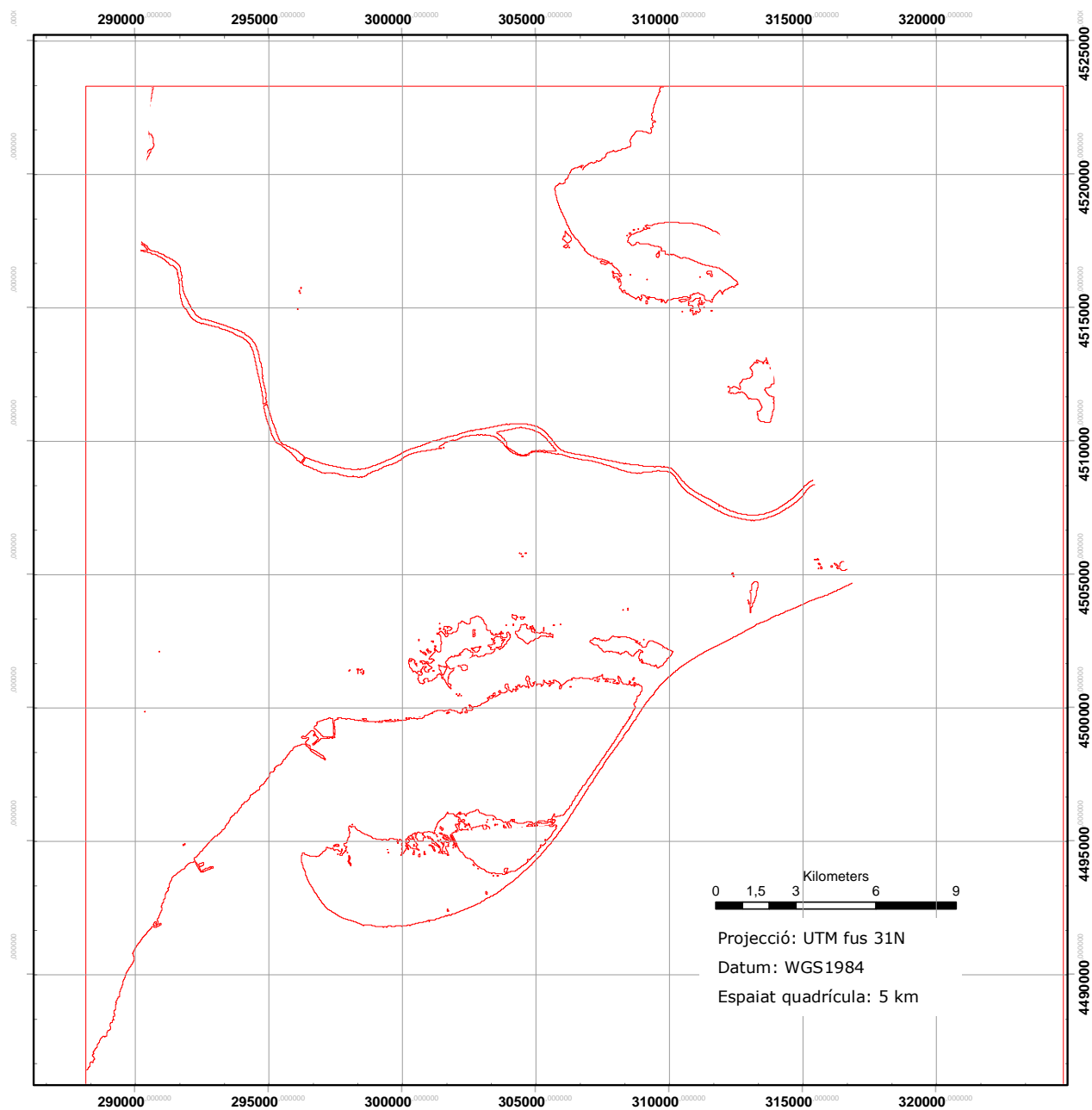


III. Mapa vectorial – Ortofotografia (1957)

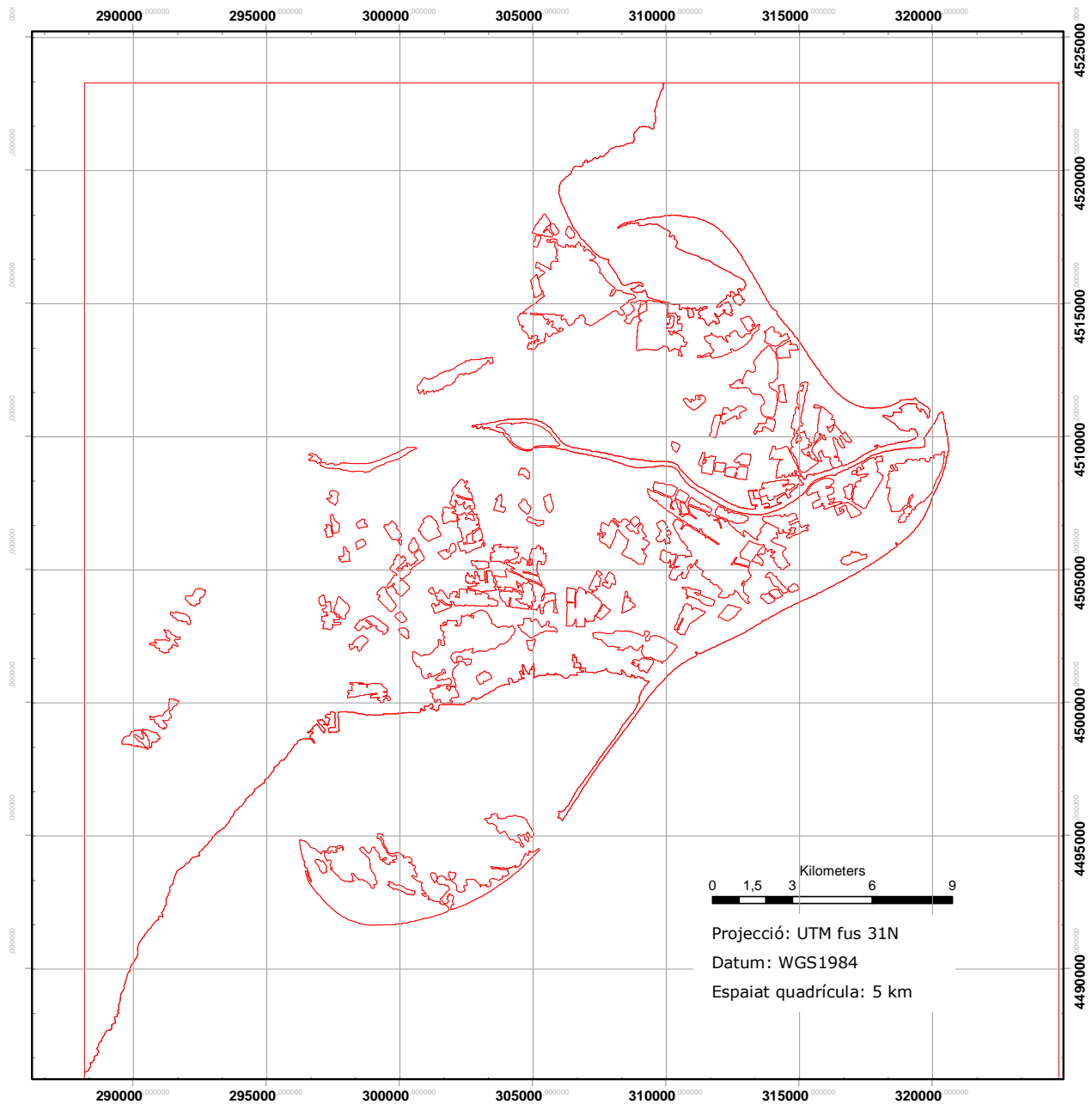


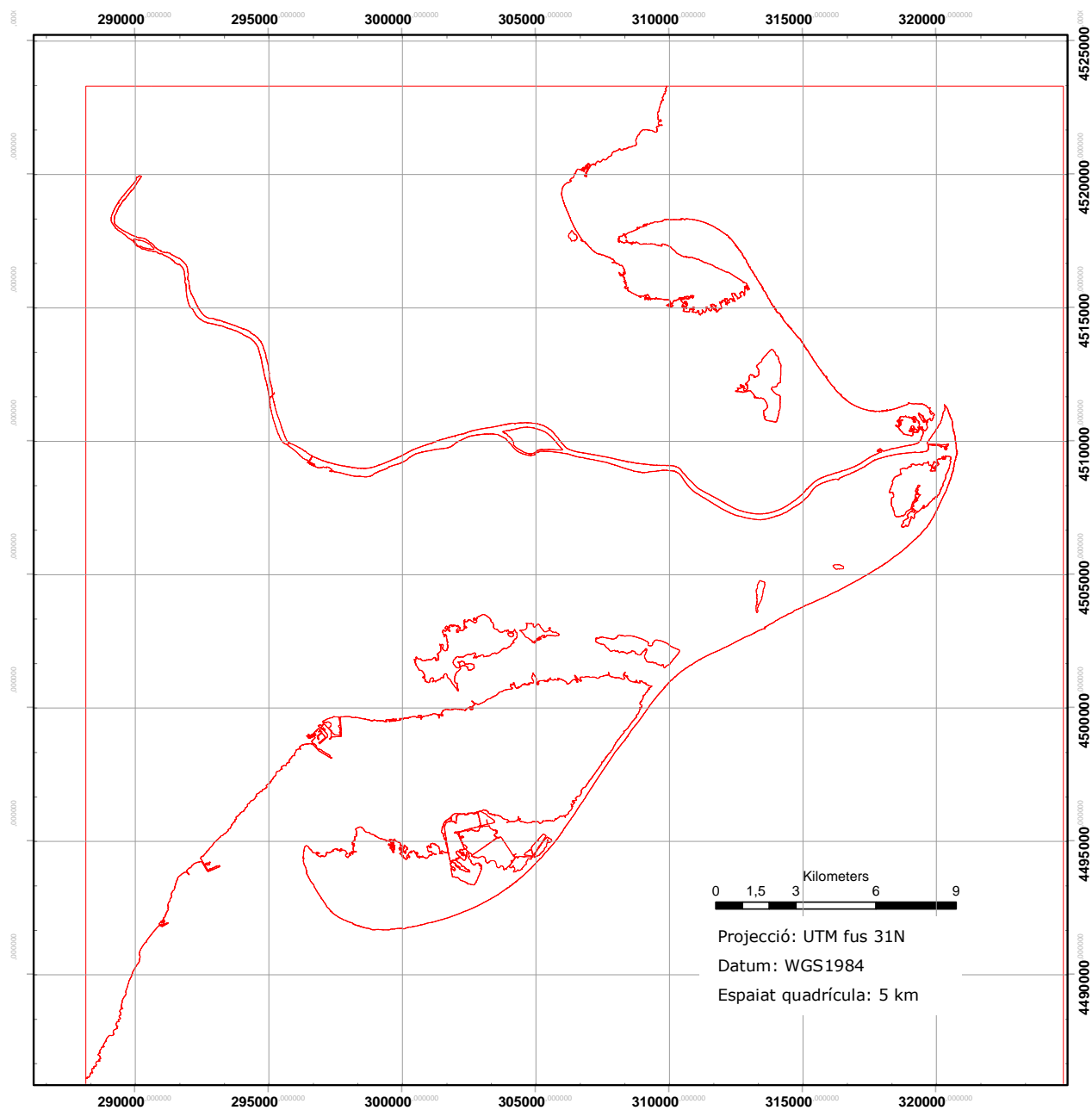
IV. Mapa vectorial – LandSat 1 (1972)



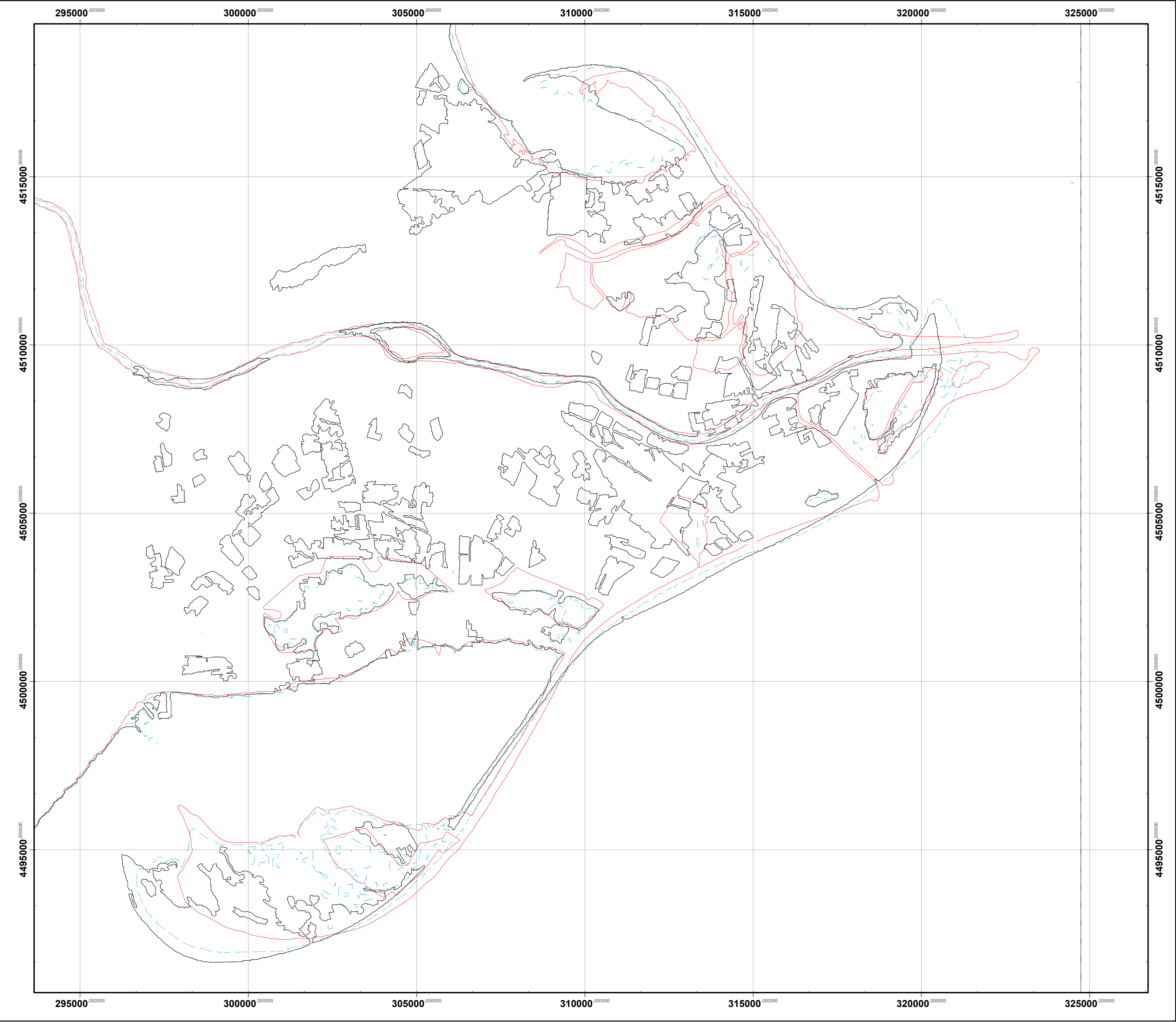
V. Mapa vectorial – LandSat 5 TM (1984)

VI. Mapa vectorial – LandSat 8 TM (2014)



VII. Mapa vectorial – SPOT 5 (2005)

VIII. Mapa vectorial General



Mapa Vectorial (1919 - 2014)

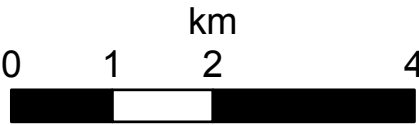
General

Projecte Final de Carrera

Estudis dels canvis
en la morfologia del
Delta de l'Ebre durant
els segles XX-XXI

Llegenda

- 2014
- - - 1972
- 1919



1:75.000

Projecció: UTM fus 31
Datum: WGS1984

Espaiat quadrícula: 5 km

Xabier Blanch

IX. Mapa vectorial Front del Delta



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Mapa Vectorial (1919 - 2014)

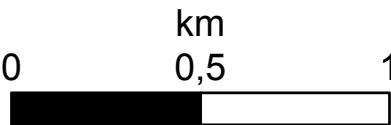
Front de Delta

Projecte Final de Carrera

Estudis dels canvis
en la morfologia del
Delta de l'Ebre durant
els segles XX-XXI

Llegenda

- 2014
- - - 2010
- - - 2005
- - - 1990
- - - 1972
- - - 1957
- - - 1938
- - - 1919



1:20.000

Projecció: UTM fus 31
Datum: WGS1984

Espaiat quadrícula: 1,5 km

Xabier Blanch

